



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**ADITIVNÍ TECHNOLOGIE A JEJICH VYUŽITÍ PRO
VÝROBU GALVANICKÉ CELY**

ADDITIVE TECHNOLOGY AND THEIR APPLICATION FOR MANUFACTURING ELECTROLYTIC CELL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Jalůvka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jakub Jalůvka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Aditivní technologie a jejich využití pro výrobu galvanické cely

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou rozebrány jednotlivé aditivní technologie a následně je vybrána vhodná technologie pro výrobu součásti – galvanické cely. Součást bude konstruována v parametrickém softwaru Autodesk Inventor.

Cíle bakalářské práce:

1. Aditivní technologie a jejich využití.
2. Představení součásti - galvanické cely.
3. Konstrukce součásti.
4. Výroba součásti.

Seznam literatury:

JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. Professional Engineering Publishing, 2004, pp. 112. ISBN 1860584659.

PÍŠA, Z., KEJDA, P., GÁLOVÁ, D. Rapid Prototyping in Mechanical Engineering. In Proceedings of the Abstracts 12th International Scientific Conference CO-MA-TECH 2004. Bratislava: STU, 2004. s. 160. ISBN 80-227-2121-2.

SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů. In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.

PÍŠKA, M. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem vhodné metody Rapid Prototyping pro výrobu galvanické cely. Nejprve jsou rozebrány nejpoužívanější technologie RP. Ve druhé kapitole je představena vyráběná součást – galvanická cela. Následně je cela vymodelována v 3D CAD softwaru Autodesk inventor. V praktické části je popsán celý výrobní proces zahrnující pre-processing, tisk a také postprocessing.

Summary

This thesis describes the design of suitable methods of rapid prototyping for manufacturing galvanic cell. At the beginning, there are discussed the most widely used RP technologies. The second chapter presents the manufactured part - the galvanic cell. The galvanic cell is modelled in software Autodesk inventor 3D CAD. The practical part describes the whole manufacturing process, including pre-processing, printing and postprocessing.

Klíčová slova

Aditivní technologie, Rapid prototyping, Fused Deposition Modeling, Galvanické pokovování

Keywords

Additive manufacturing, Rapid prototyping, Fused Deposition Modeling, Electroplating

JALŮVKA, Jakub. *Aditivní technologie a jejich využití pro výrobu galvanické cely*. Brno, 2017. 59 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Aleš JAROŠ.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Aditivní technologie a jejich využití pro výrobu galvanické cely* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Aleše Jaroše, Ph.D., s použitím materiálů uvedených v seznamu literatury.

Jakub Jalůvka

Děkuji svému vedoucímu Ing. Alešovi Jarošovi, PhD., za svědomité vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat Ing. Romanovi Válkovi ze společnosti TE Connectivity za rady z oblasti galvanického pokovování a také Bc. Viktorovi Végnerovi a společnosti MCAE Systems, s.r.o. za poskytnutí výrobních zařízení a prostor pro výrobu galvanické cely.

Jakub Jalůvka

OBSAH

ABSTRAKT	1
KLÍČOVÁ SLOVA	1
PODĚKOVÁNÍ	1
ÚVOD	13
1. ADITIVNÍ TECHNOLOGIE	15
1.1. Rapid Prototyping	15
1.2. Proces výroby	15
1.2.1. Vytvoření 3D modelu	16
1.2.2. Exportování modelu do formátu STL a rozdělení na vrstvy	17
1.2.3. Výroba modelu - vrstva po vrstvě	17
1.2.4. Postprocessing a konečný výrobek	17
1.3. Metody výroby	17
1.3.1. Technologie vytvrzování tekutiny	17
Stereolitografie (SLA)	17
Multi-Jet Modeling (MJM)	19
1.3.2. Technologie spékání prášku	19
Selective Laser Sintering (SLS)	20
Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	20
1.3.3. Technologie nanášení tuhých materiálů	21
Laminated Object Manufacturing (LOM)	21
Fused Deposition Modeling (FDM)	21
2. GALVANICKÉ POKOVOVÁNÍ	23
2.1. Princip galvanického pokovování	23
2.2. Galvanická cely	24
2.3. Využití pokovování	25
3. KONSTRUKCE CELY	27
4. VÝROBA SOUČÁSTI	35
4.1. Výběr materiálu pro 3D tisk	35
4.2. Výběr metody Rapid Prototyping	36
4.3. Příprava dat pro 3D tisk	36

4.3.1. Převod modelu do formátu STL	36
4.3.2. Rozdělení modelu na vrstvy	37
4.4. Tisk součásti	39
4.4.1. Tiskárna Fortus 450mc	39
4.4.2. Průběh 3D tisku	40
4.5. Postprocessing	41
4.5.1. Odstranění podpor	41
4.5.2. Chemické vyhlazení	41
4.6. Kompletování	42
4.7. Součást v provozu	43
ZÁVĚR	47
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	53
SEZNAM OBRÁZKŮ	55
SEZNAM TABULEK	57
SEZNAM PŘÍLOH	59
A. Porovnání typů STL souborů	i
A.1. Binární STL soubor galvanické cely	i
A.2. ASCII STL soubor galvanické cely	i
B. Test chemické odolnosti	iii
C. Katalogový list ABS-M30	v
D. Katalogový list Fortus 450mc	vii
E. Katalogový list závitové vložky	ix
POZNÁMKA	xi

ÚVOD

Během posledních několika let se velice rychle rozšířil 3D tisk jako aditivní technologie do všech různých technických i netechnických odvětví.

Dnes už snad každá univerzita nebo větší konstruktérská firma využívá 3D technologie pro tisk prototypů. Zároveň rapidně vzrostl počet výrobců tiskáren a tím se zvýšila konkurence a zrychlil vývoj nových technologií. Tento vysoce rychlý vývoj napomohl k rozšíření původní myšlenky pouhého tisku prototypů na tisk výrobních a plně funkčních dílů.

Právě tímto směrem se ubírá tato bakalářská práce **„Aditivní technologie a jejich využití pro výrobu galvanické cely“**.

V první polovině práce je popsán teoretický postup výroby modelů až po 3D tisk a postprocessing. Následně jsou v teoretické části rozebrány nejznámější metody 3D tisku.

Tím, že je vyrobený model zamýšlený jako plně funkční díl pro galvanické pokovování, je ve druhé kapitole bakalářské práce popsán princip elektrochemického (galvanického) pokovování. Také princip galvanické cely.

Druhá část bakalářské práce, praktická část, je zaměřená na výrobu galvanické cely od modelování po tisk. Je zde vybrána nejvhodnější metoda, která zaručuje zachování nutných elektrochemických kritérií. Tyto kritéria jsou chemická odolnost, dostatečná pevnost a hladký povrch součástí. V úplném závěru práce je možné vidět vytištěnou galvanickou celu v reálném výrobním procesu.

1 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

V posledních letech je na světovém trhu kladen důraz na pořád rychlejší, levnější a kvalitnější výrobu. Tento tlak přispívá ke stále se zdokonalující moderním technologiím výroby. Tyto technologie můžeme pojmenovat Aditivní, Rapid Prototyping a 3D tisk [1].

Aditivní technologie přišla s cílem zjednodušení výroby velice složitých výrobků. Je to technologie, při které se výrobek vytváří postupným vrstveným procesem. Dokáže tedy zrealizovat téměř jakýkoliv fyzický model vytvořený v CAD¹ softwaru [2].

1.1 Rapid Prototyping

Rapid Prototyping (zkráceně RP) vznikl už na počátku 90 let, kdy v 1986 americká firma 3D Systems patentovala první 3D tisk za pomoci metody SLA² spékání fotopolymérů (o této metodě bude zmíněno později). Postupně vznikají i další metody RP, kterých je dnes celá řada. Dnes je 3D tisk rozšířený nejen do průmyslových odvětví, ale je součástí mnoha konstrukčních oddělení, modelářů i nadšenců [3].

RP je technologie, při které se výrobek vytváří postupným vrstvením tenkého proužku, prášku nebo kapky materiálu. Ten následně tuhne, nebo je spečen pomocí laseru. Díky tomuto způsobu výroby se neodebírá z polotovaru materiál jako je tomu u obrábění ani se materiál nepřidává najednou podobně jako u odlévání [2].

Srovnání technologií je znázorněno na obrázku 1.1.

RP se využívá v různých průmyslových odvětvích pro rychlé vytváření prototypů, modelů ale i pro produkci konečných výrobků. Tento proces výroby prototypů umožňuje inženýrům testování už během procesu výroby. Konstrukterům umožňuje nalezení chyb ve výrobní dokumentaci, v koncepci a tak dokáže zjednodušit proces uvedení výrobku do sériové výroby bez vzniku nežádoucích chyb [4, 5].

Postupným zdokonalováním této technologie se řada produktů začala vyrábět touto technologií místo obráběním. Nemluvíme tedy už jen o výrobě prototypů [4, 5].


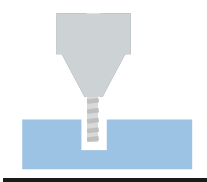
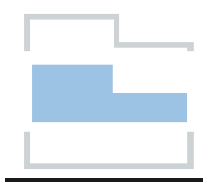






1.2 Proces výroby

Proces výroby je pro všechny systémy RP podobný. Celý se dá shrnout do 5 hlavních bodů: vytvoření modelu, exportování modelu do formátu STL a rozdělení na vrstvy, výroba

¹Computer-aided design.

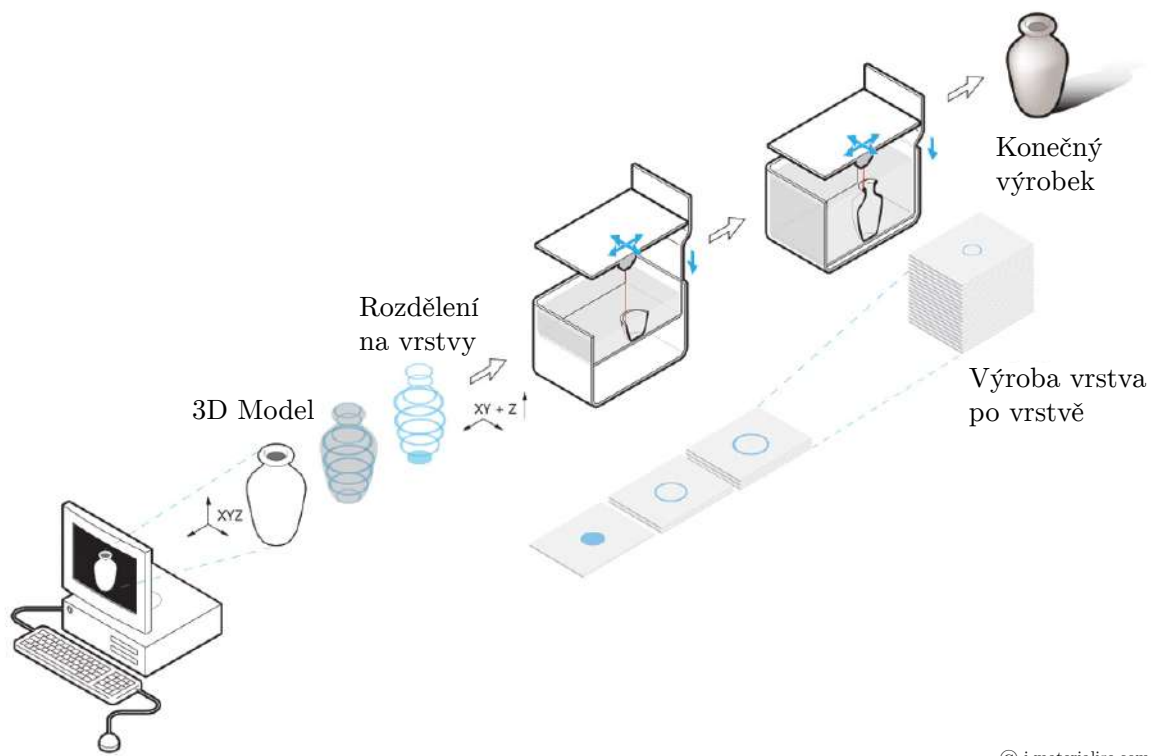
²Stereolithografie.

1 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

	Aditivní technologie	Obrábění	Odlévání
Technologie			
Odpad			
Rychlost výroby včetně přípravy			

Obrázek 1.1: Porovnání aditivní technologie s obráběním a odléváním. Zelený smajlík znázorňuje malý odpad nebo rychlou výrobu. Červený opak.

modelu vrstva po vrstvě, postprocessing. Ilustrační schéma procesu výroby znázorňuje obrázek 1.2.



Obrázek 1.2: Proces výroby pomocí aditivní technologie [6].

1.2.1 Vytvoření 3D modelu

Prvním bodem postupu je výroba virtuálního 3D modelu. Model můžeme zhotovit buď pomocí jakéhokoliv CAD softwaru, laserového skeneru nebo případně CNC řídicím pro-

gramem. 3D modelování je nejčastěji nejnáročnější a nejdéle trvající částí procesu výroby [5, 7].

1.2.2 Exportování modelu do formátu STL a rozdělení na vrstvy

Následujícím krokem je export modelu do univerzálního formátu STL. Tento formát je označován jako přechodový. Slouží zpravidla pouze pro převod souboru z CAD softwaru do 3D tiskárny. Formát popisuje pouze povrchové data modelu, které jsou převedeny na trojúhelníkovou síť jednotkovými normálami a vrcholy. Kvalitnějšího povrchu docílíme hustší trojúhelníkovou sítí. STL soubor lze uložit pomocí binárního nebo textového (ASCII) kódování. V příloze A je možné vidět porovnání ASCII a binárního kódu části STL souboru galvanické cely. ASCII kód umožňuje snadnější zpětnou úpravu kódu, ale naopak binární se vyznačuje krátkým textem, tedy velikostně menším souborem [7, 8].

1.2.3 Výroba modelu - vrstva po vrstvě

Jakmile program rozdělí model na vrstvy můžeme začít s výrobou na 3D tiskárně. Výroba pomocí 3D tiskárny je zcela automatizovaná a tak operátor nemusí při výrobě asistovat. Množství a velikost vyráběných modelů závisí na tiskové ploše 3D tiskárny. Některé moderní zařízení jsou schopny uživatele informovat o průběhu výroby pomocí elektronické komunikace [7].

1.2.4 Postprocessing a konečný výrobek

Po vyjmutí výrobku z 3D tiskárny je nutné nejprve výrobek očistit od přebytečného prášku nebo podpůrného materiálu. Dokončovací operace se liší pro různé metody 3D technologie [9].

1.3 Metody výroby

Prototypy vznikají pomocí specializovaných metod při nichž dochází ke spékání prášků nebo nanášení vrstev taveniny, případně spojováním speciálních fólií. Tyto metody můžeme rozdělit na tři základní oblasti: technologie vytvrzování tekutiny, technologie spékání prášků, technologie nanášení tuhých materiálů [8].

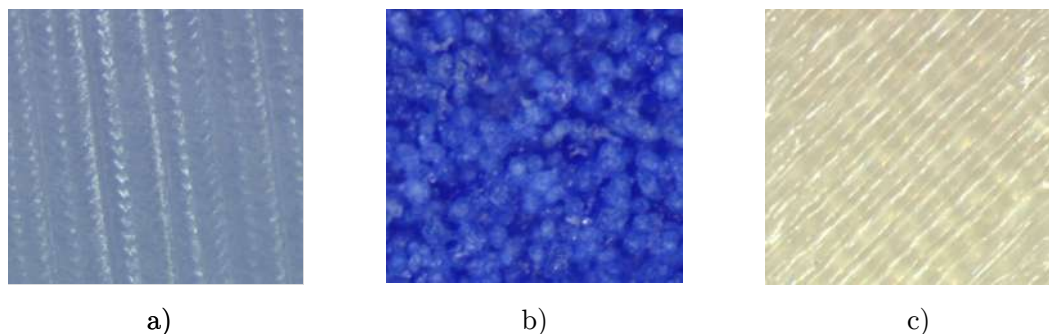
Obrázek 1.3 znázorňuje strukturu povrchu jednotlivých oblastí Rapid Prototyping.

1.3.1 Technologie vytvrzování tekutiny

Tuto skupinu tvoří materiály ve formě tekutého skupenství. Model vzniká pomocí vytvrzování tekutého materiálu. Do této skupiny patří Stereolitografie a Multi-Jet Modeling.

Stereolitografie (SLA)

Metoda Stereolitografie byla vytvořena Charlesem W. Hullem a Raymondem S. Freedomem už v roce 1986. Patří mezi nejstarší metody Rapid Prototyping [8].



Obrázek 1.3: Pohled pod mikroskopem na výslednou strukturu povrchu metodu a) vytvrzování tekutiny, b) spékání prášku, c) nanášení tuhých materiálů.

Tabulka 1.1: Porovnání technologií Rapid Prototyping [10].

Metoda	Min. tloušťka vrstvy [mm]	Konečný povrch	Rychlost tisku
SLA	0,0254	Hladký	Průměrná
MJM	0,0127	Velmi hladký	Pomalá
SLS	0,1270	Průměrný	Rychlá
DMLS	0,0254	Průměrný	Rychlá
LOM	0,0508	Hrubý	Rychlá
FDM	0,1270	Hrubý	Pomalá

Model vzniká postupným vytvrzováním (nejčastěji laserovým paprskem) jednotlivých 2D vrstev [5].

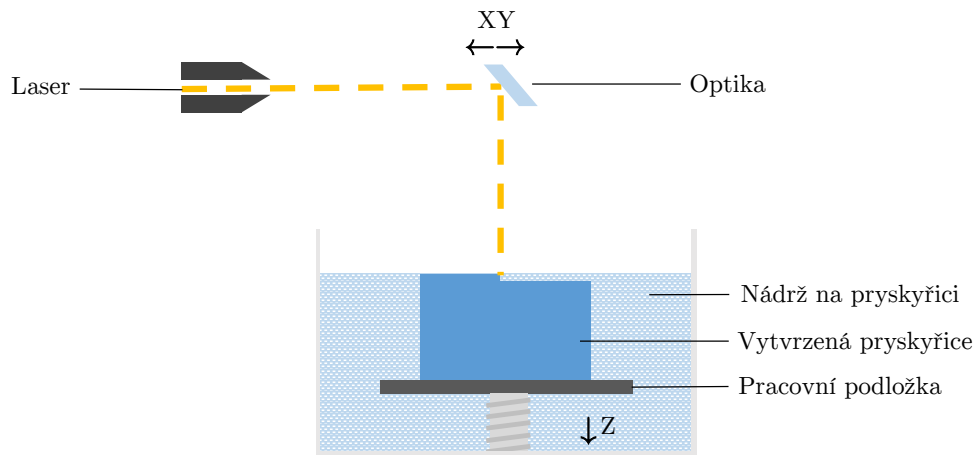
Materiál pro výrobu modelu je na bázi fotopolymerů nebo pryskyřice. V současné době je na trhu okolo 20 druhů. Jedná se o klasické fotopolymery nebo speciální simulující plasty s mechanicky lepšími vlastnostmi např. polypropylen nebo ABS³ [11, 12].

Zařízení (viz obrázek 1.4) se skládá z nádrže s tekutým polymerem. Na začátku je pracovní plocha ponořena do nádrže pod hladinou tekutého polymeru o hodnotu hloubky vrstvy. Výška vrstvy je zpravidla 5×10^{-2} - $1,5 \times 10^{-1}$ mm. Laserová hlava kopíruje naprogramovanou dráhu a dopadající parsek vytvrzuje fotopolymer. Po vytvrzení jedné vrstvy srovná stírací čepel tekutý polymer na požadovanou tloušťku. Operace se opakuje do dokončení prototypové součásti. Po ukončení procesu je prototypová součást velmi křehká a proto se provádí dokončování a stabilizace v UV komoře, kde se součásti dodá požadovaná integrita povrchu [5, 14].

Na trhu jsou především SLA tiskárny od společnosti 3D Systems. Jejich tiskárny jsou určeny pro průmyslové využití. Dostupnější SLA tiskárny nabízí např. taiwanská společnost XYZprinting [15, 16].

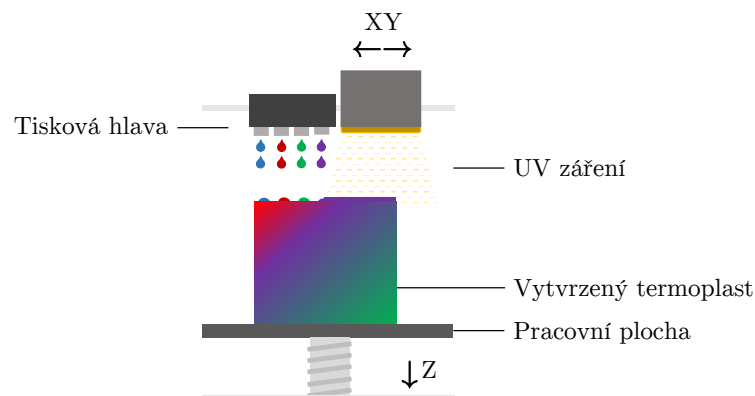
Vyrobené modely mají velkou přesnost a vysokou kvalitu povrchu. Mezi nevýhody patří citlivost na teplo, vlhkost [5, 8].

³Akrylonitril Butadien Styren - termoplast velmi využívaný pro tisk 3D modelů.



Obrázek 1.4: Metoda Stereolitografie [13].

Multi-Jet Modeling (MJM)



Obrázek 1.5: Metoda Multi-Jet Modeling [17].

Metoda Multi-Jet Modeling neboli Poly-Jet Modeling je vyvinuta pro rychlou tvorbu prototypů [8].

Nanášený materiál (termoplast) tuhne téměř ihned po nanesení vrstvy na pracovní plochu. K rychlejšímu ztuhnutí materiálu se využívá UV světlo (viz obrázek 1.5) [5].

Výhoda metody MJM spočívá v tom, že materiál lze nanášet větším množstvím trysek a tím lze urychlit proces výroby. Mezi nevýhody patří velmi omezený výběr materiálu pro tisk [5].

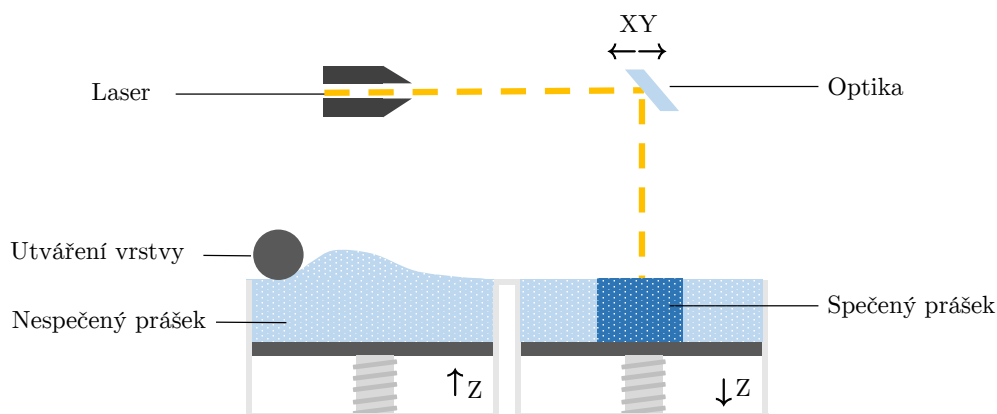
1.3.2 Technologie spékání prášku

Tuto skupinu tvoří materiály ve formě prášku. Do této skupiny patří: Selective Laser Sintering a Direct Metal Laser Sintering.

Selective Laser Sintering (SLS)

Metoda Selective Laser Sintering byla vyvinuta Carlem Deckardem na texaské univerzitě v roce 1984 [14].

Materiál pro výrobu modelu je prášek: termoplast (nylon, polyamid), polystyren, elastomery, kompozity [18, 19].



Obrázek 1.6: Metoda Selective Laser Sintering a Direct Metal Laser Sintering [13].

Zařízení (viz obrázek 1.6) se skládá z práškové lóže naplněné práškem. Na nosnou desku je nanесena první vrstva prášku. Nanесená vrstva je následně zpevněna pomocí válce. Poté se pomocí laseru nataví místa, které v dané vrstvě tvoří plochu vyráběného modelu a v těchto místech dojde ke spečení prášku. Operace se opakují do dokončení prototypové součásti [8].

Nezpevněný prášek vytváří kolem modelu podporu. Po ukončení procesu je nezbytnou součástí výrobního procesu odstranění podpor, tryskání a broušení [14].

Vyrobené modely mají velkou přesnost a pevnost. Výhodou je velké množství použitelných materiálů. Nevýhodou je pórovitost povrchu součástek a vysoká energetická náročnost zařízení [8].

Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Metoda Direct Metal Laser Sintering je principiálně stejná jako výše zmíněná metoda SLS. Rozdíl je pouze v materiálu [5].

Materiálem pro výrobu modelu je kovový prášek: ocelové slitiny, nerezové oceli, hliníku, bronzu, titanu nebo nástrojové oceli [20].

V tiskárně je na ocelovou platformu stavěna součást. Dávkovací zařízení rovnoměrně rozprostře kovový prášek. Poté se pomocí laseru nataví místa, které v dané vrstvě tvoří plochu vyráběného modelu a v těchto místech dojde ke spečení prášku. Operace se opakují do dokončení prototypové součásti. Uvnitř pracovní komory, v níž probíhá proces tisku je ochranná atmosféra - dusík. Nezpevněný prášek vytváří kolem modelu podpory [5].

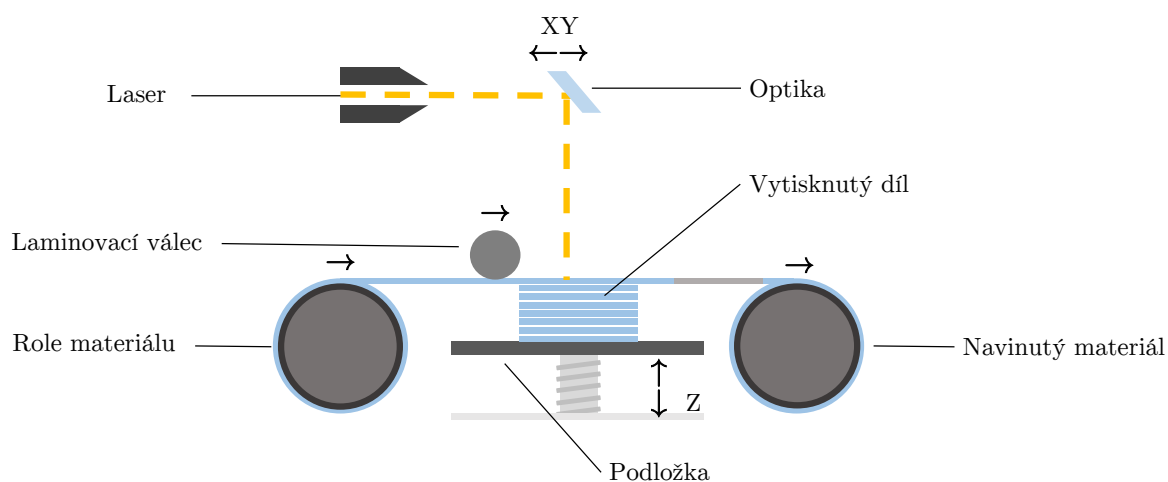
Po ukončení tisku je nezbytnou součástí výrobního procesu odstranění podpor, tryskání, broušení [5].

Mezi největší výhody patří vysoká pevnost vyrobené součásti (pro představu pevnost modelu vyrobeného z kovového prášku se pohybuje ve stovkách MPa, u plastu v desítkách MPa). Mezi nevýhody patří vysoká energetická náročnost tisku a velmi vysoká cena [5].

1.3.3 Technologie nanášení tuhých materiálů

Tuto skupinu tvoří pevné materiály, které jsou ve formě drátu navinutého na cívce nebo ve formě fólií. Do této skupiny patří Laminated Object Manufacturing a Fused Deposition Modeling.

Laminated Object Manufacturing (LOM)



Obrázek 1.7: Metoda Laminated Object Manufacturing [21].

Metoda Laminated Object Manufacturing byla vytvořena v roce 2000 firmou Helisys Inc [14].

Zařízení (viz obrázek 1.7) se skládá z pracovního stolu, laseru, laminovacího válce a role s fólií. Tato fólie je z jedné strany natřena příslušným nátěrem [8].

Na pracovní stůl se z role navine fólie. Ta je pomocí laseru postupně rozřezána po vrstvách. Válec zahřátý na cca 300°C přejede přes vrstvu a tím ji přilepí k vrstvě pod ní. Postupně tak dojde ke vzniku celé prototypové součásti. Výhodou této metody její rychlost, tím, že je laser aplikovaný pouze po obvodu součásti. Nevýhodou je vznik velkého množství odpadového materiálu při výrobě prototypů a náročné odstraňování podpor [5, 14].

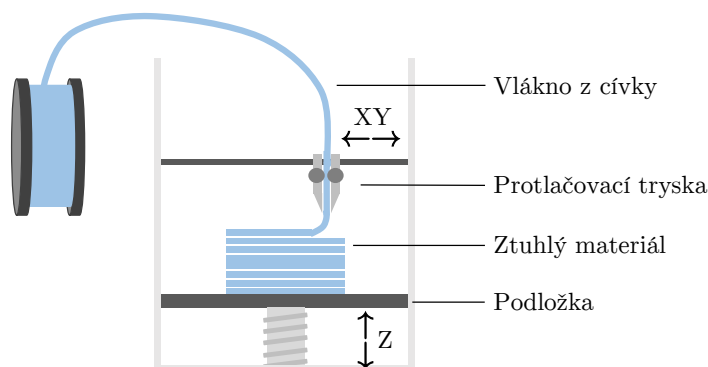
Fused Deposition Modeling (FDM)

Metoda Fused Deposition Modeling byla vyvinuta Scottem Crampem už v roce 1988. Od roku 1989 vznikla společnost Stratasys Inc., která začala tuto metodu postupně zdokonalovat a dnes je světovým leaderem v tisku pomocí metody FDM [14].

1 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

Model vzniká postupným vytvářením vrstev z polotekutého plastu, který je vytlačován z protlačovací trysky [8].

Materiál pro výrobu modelu je ve formě tenkého vlákna, nejčastěji s průměrem 1,75 nebo 2,85mm. Dělí se na modelovací a podporový. Modelovací se využívá pro vytváření stěny 3D výrobku. Podporový materiál jako podpora při tisku. Vytváří tzv. adhezní vrstvu. Ta zabezpečuje, že se stěny modelu při tisku vlivem chladnutí nedeformují. Modelovací i podpurné materiály jsou navinuty na cívkách. Nejpoužívanější modelovací vlákna jsou vyrobené z plastu ABS, PLA⁴, PC⁵ nebo Nylon. Podpurné vlákna jsou vyrobeny z méně odolných plastů, které je následně možné vyplavit rozpouštědly (např. vlákna z materiálu HIPS⁶ lze vyplavit rozpouštědlem Lemonesol) [8, 14].



Obrázek 1.8: Metoda Fused Deposit Modeling [13].

Stavební materiál ve formě tenkého vlákna je veden z cívky do pohyblivé hlavy. Pohyblivá hlava je ovládaná servomotory. Uvnitř hlavy je vlákno roztaveno ohřívači a dále je protlačované přes trysku. Tryska postupně nanáší roztavený materiál na pracovní podložku. Plastické vlákno tuhne okamžitě po vytlačení a svojí lepící schopností zpevňuje vrstvu pod sebou. Po vytvoření celé vrstvy se pracovní podložka posune o hloubku vrstvy. Tloušťka vrstvy je nejčastěji 0,254mm, ale pro detailnější tisk je u některých 3D tiskáren možné tloušťku vrstvy snížit až na 0,178mm. Celý proces se opakuje do vytvoření celé součástky. Zařízení pro 3D tisk pomocí metody FDM popisuje schématický obrázek 1.8 [8].

Po tisku je nutné z vytištěného modelu odstranit podpory [8].

Velkou výhodou FDM technologie je široké spektrum použitelných materiálů a tudíž možnost vyrábět nejen prototypy, ale i funkční součásti. Nevýhodou je pomalý proces výroby a omezená přesnost [5].

⁴Polylactid acid - termoplast.

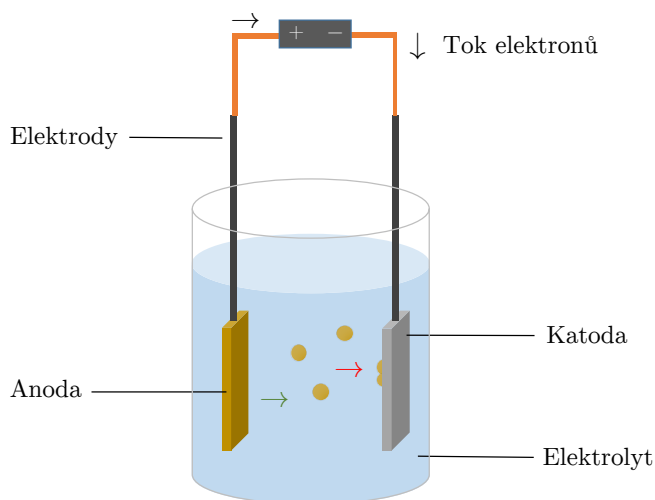
⁵Polykarbonát - velmi odolný termoplast.

⁶Houževnatý polystyren.

2 GALVANICKÉ POKOVOVÁNÍ

Galvanické pokovování je jednou z metod povrchových úprav materiálů. Cílem pokovování je dosažení požadovaných vlastností stavů povrchu materiálů a jejich optimální a dlouhodobou funkci. Mezi tyto vlastnosti patří ořezuvzdornost, tvrdost, žáruvzdornost, změna elektrické vodivosti, vzhledové vlastnosti a také korozivzdornost [22].

2.1 Princip galvanického pokovování



Obrázek 2.1: Princip galvanického pokovování [23].

Principem je vylučování kovu na pokovovaný předmět pomocí elektrochemických reakcí. Základem je elektrolyt tvořený roztokem kovové soli, rozpouštědlem (voda) a přídatnými látkami. Elektrolyt obsahuje záporné ionty, které nesou přebytečné elektrony. Ty způsobují, že elektrolyt vede elektrický proud [22].

Při působení stejnosměrného elektrického proudu na roztok pomocí dvou elektrod se záporně nabití ionty vylučují na kladné elektrodě a kladně nabití ionty na záporné elektrodě viz obr 2.1. V galvanickém procesu se na katodě (záporně nabitá elektrodě) začne vylučovat kovová vrstva. Pokovená vrstva dosahuje u galvanického pokovování tloušťky 10^{-3} až 10^{-4} mm [22, 24].

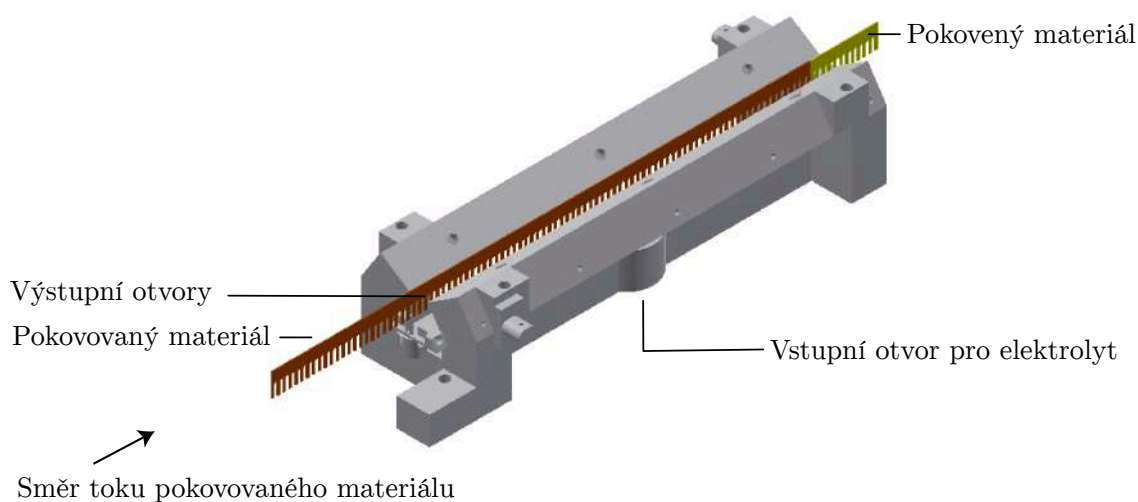
2 GALVANICKÉ POKOVOVÁNÍ

Celý pokovovací postup se skládá z řady technologických operací:

- Chemické odmašťování
- Oplach
- Elektrochemické odmašťování
- Oplach
- Dekapování (odstraňování nežádoucích povlaků obvykle oxidů z povrchu)
- Oplach
- Pokovení
- Oplach
- Sušení [22].

2.2 Galvanická cela

Galvanická cela je zařízení využívané ve výrobním procesu elektrochemického pokovování, konkrétně v technologické operaci „pokovení“. Cela je umístěna v galvanické vaně ve vodorovné výrobní lince. Do cely je vstupním otvorem dopravován elektrolyt pod tlakem. V elektrolytu je rozpuštěná sůl s obsahem drahého kovu např. zlata nebo stříbra. Pomocí potrubního systému uvnitř cely je elektrolyt usměrněn a výtokovým kanálem vystupuje na pokovovaný materiál procházející středem galvanické cely. Pokovovaný materiál je do systému zapojen jako katoda. Z elektrolytu dopadajícího na pokovovaný materiál dochází k usazování drahých kovů na povrchu a tím vzniká tenká pokovená vrstva. Vystupující pokovovaný materiál opouští celu pokovený. Celý princip galvanické cely je znázorněn na obrázku níže.

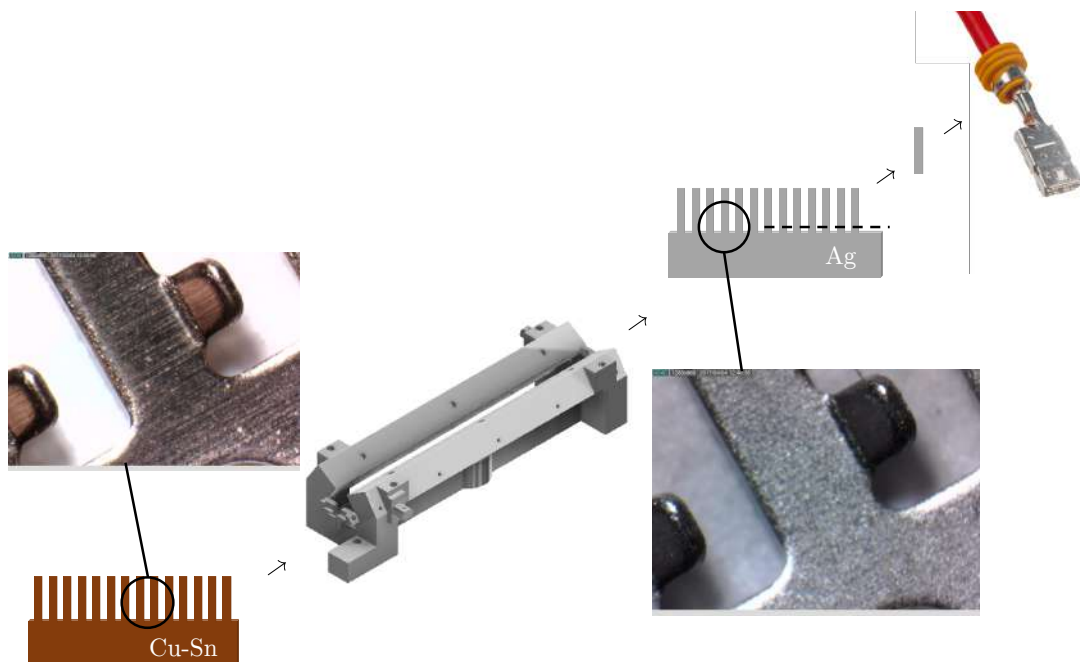


Obrázek 2.2: Galvanická cela.

2.3 Využití pokovování

Pokovovaný materiál je v našem případě částečně vylišovaný kontakt pro automobilní průmysl. Materiálem je nejčastěji nerezová ocel nebo bronz.

Postupně tak galvanickou celou projde celý pokovovaný materiál z cívky. Na konci linky je opět navinut (v tuto chvíli už se zlatou nebo stříbrnou vrstvou) a vrací se zpět do oddělení lisovny, kde je kompletně rozdělen na jednotlivé kontakty. Ty jsou v dalších výrobních operacích závodu nakrimpovány a výsledně tvoří kabelové svazky pro osobní automobily.

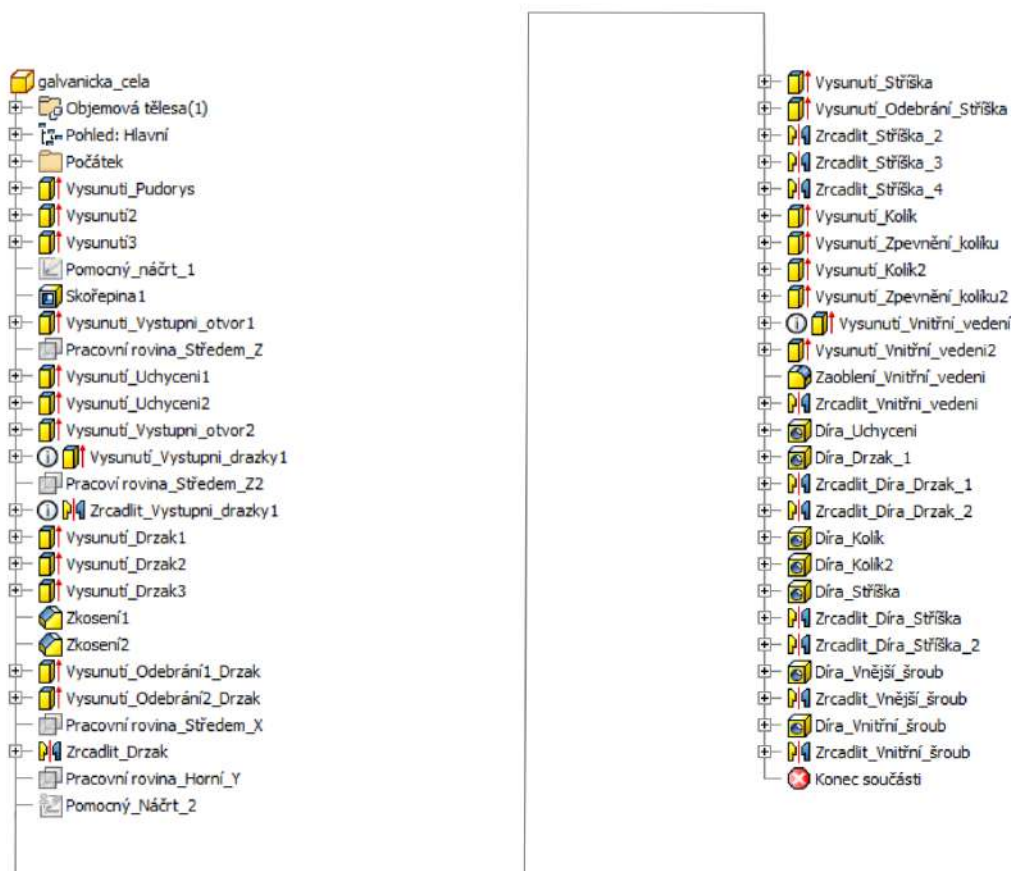


Obrázek 2.3: Schéma výroby kabelového svazku s detailním pohledem na oblast pokovení [25].

3 KONSTRUKCE CELY

Pro konstrukci 3D modelu galvanické cely sloužil jako podklad konstrukční výkres a reálná galvanická cela. Po změření všech potřebných rozměrů a rozvržení postupu modelování byl vytvořen model v parametrickém 3D CAD programu Inventor 2016 od společnosti Autodesk.

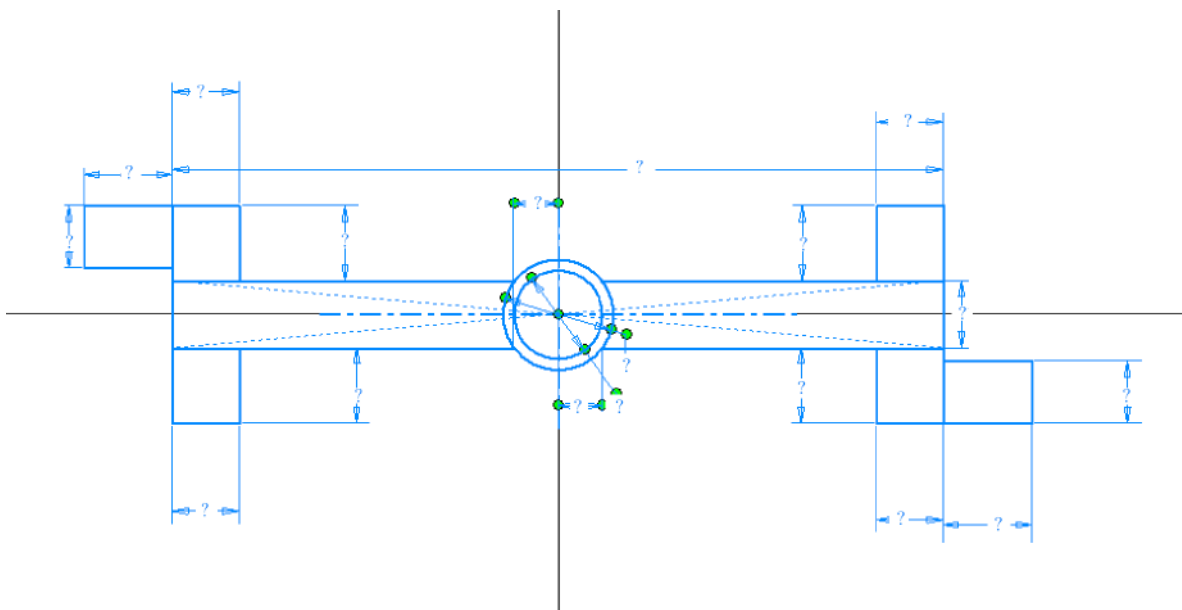
V následujících odstavcích této kapitoly bude popisován podrobný postup vytváření zadané součásti. Na obrázku 3.1 je znázorněna celá struktura modelované součásti. Pro vytvoření souboru součásti s názvem „galvanicka-cela.ipt“ bylo nejdříve nutné zvolit položku „Nový“ v hlavní nabídce v levém horním rohu a následně v záložce „Templates“ vybrat položku „Norma.ipt“. Po načtení se zobrazilo prázdné prostředí nachystané pro vymodelování součásti.



Obrázek 3.1: Struktura součásti Galvanické cely.

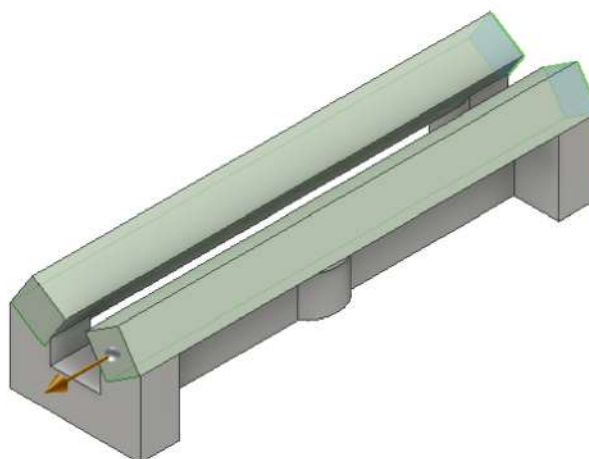
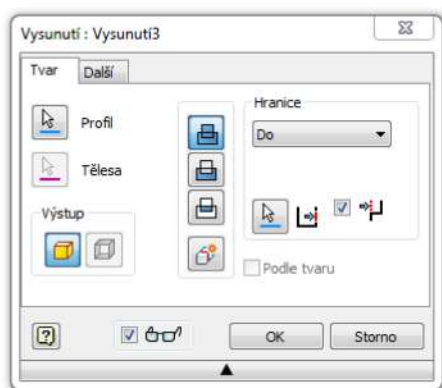
3 KONSTRUKCE CELY

Prvním krokem bylo vytvoření náčrtu do počáteční XY roviny, do kterého byl překreslen celý půdorys modelu. K překreslení bylo využito příkazů „Čára“, „Obdélník“ a „Kružnice“. Náčrt s názvem „Půdorys“ je znázorněn na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Náčrt „Půdorys“.

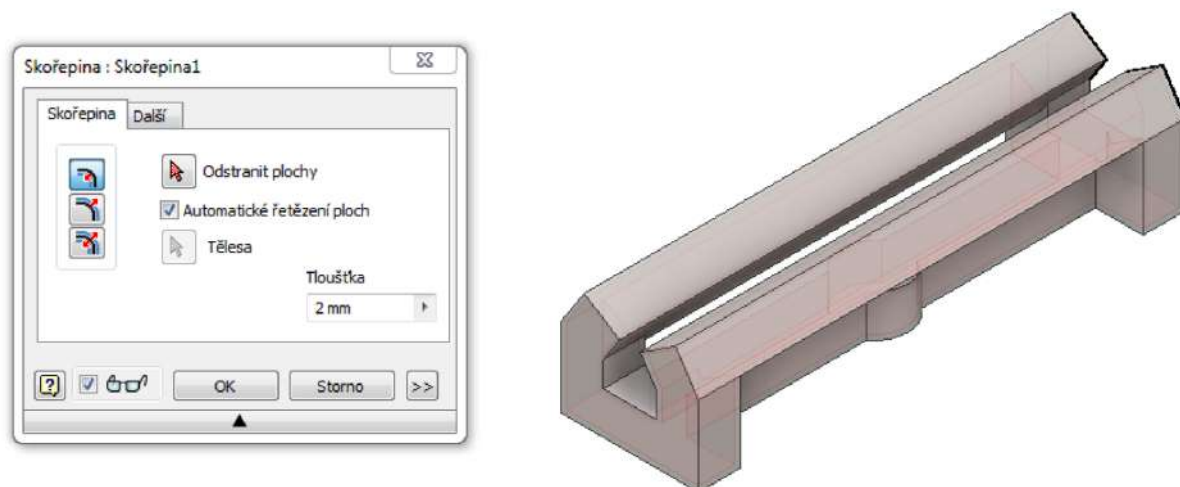
Dalším krokem bylo z 2D náčrtu vytvořeno 3D těleso pomocí příkazu „Vysunutí“. Následně pomocí dalšího náčrtu do počáteční roviny XY a dalšího „Vysunutí“ vznikl hrubý tvar, plný objekt Galvanické cely viz obrázek 3.3.



Obrázek 3.3: Vysunutí horních kosočtverců vznikl hrubý tvar Galvanické cely.

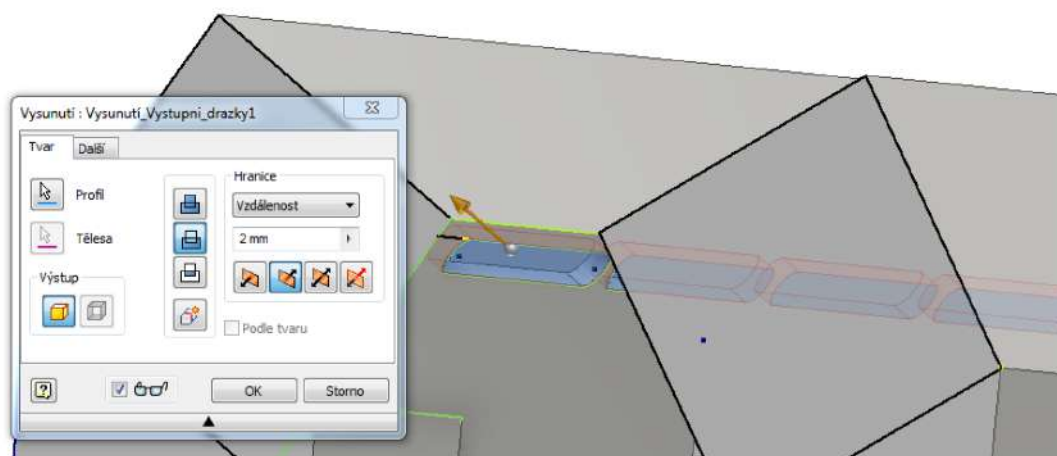
Po vytvoření plného objektu bylo nutné odebrat vnitřní materiál a vytvořit tzv. skořápku s tloušťkou stěny 2mm. Tloušťka byla zvolena na základě parametrů pro 3D tisk a kvůli potřebné pevnosti modelu. K tomuto kroku bylo využito příkazu „Skořepina“. V dialogovém okně se poté zvolil parametr „Uvnitř“, který odstranil prostor uvnitř modelu

do vzdálenosti 2mm od povrchu. Vzniklý prázdný prostor uvnitř součásti lze vidět na obrázku 3.4, kde vnitřní hrany objektu představují červené přímky.



Obrázek 3.4: Odebrání vnitřního materiálu pomocí příkazu „Skořepina“.

Následně je nutné do skořepiny vyříznout vtokové a výtokové otvory pro elektrolyt. Vtokový otvor vznikne pomocí náčrtu a vysunutí do spodní části modelu. Výtokové otvory pak pomocí náčrtu do plochy viz obrázek 3.5, do které se příkazy „Obdélník“ a „Kružnice“ naznačí první drážka a poté je příkazem „Obdélníkové pole“ rozkopírována po celé délce plochy. Drážky jsou poté z náčrtu pomocí možnosti odebrání v příkaze „Vysunutí“ odebrány ze skořepiny. Postup konstruování výtokové drážky je znázorněn na obrázku 3.5.

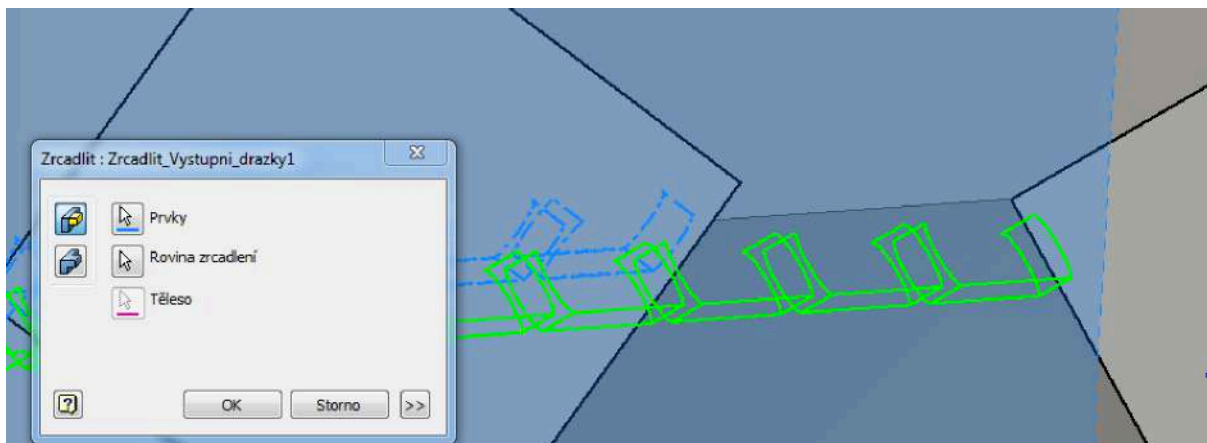


Obrázek 3.5: Vysunutí výstupních drážek.

Výstupní drážky pro druhou stranu modelu lze díky symetričnosti modelu nakopírovat pomocí příkazu „Zrcadlit“. Nejprve je však nutné vytvořit rovinu procházející středem modelu tzv. pomocnou pracovní rovinu (na obrázku 3.5 označená modře). Při zrcadlení nejprve volíme prvky, které chceme zrcadlit. V tomto případě jsou to výstupní drážky.

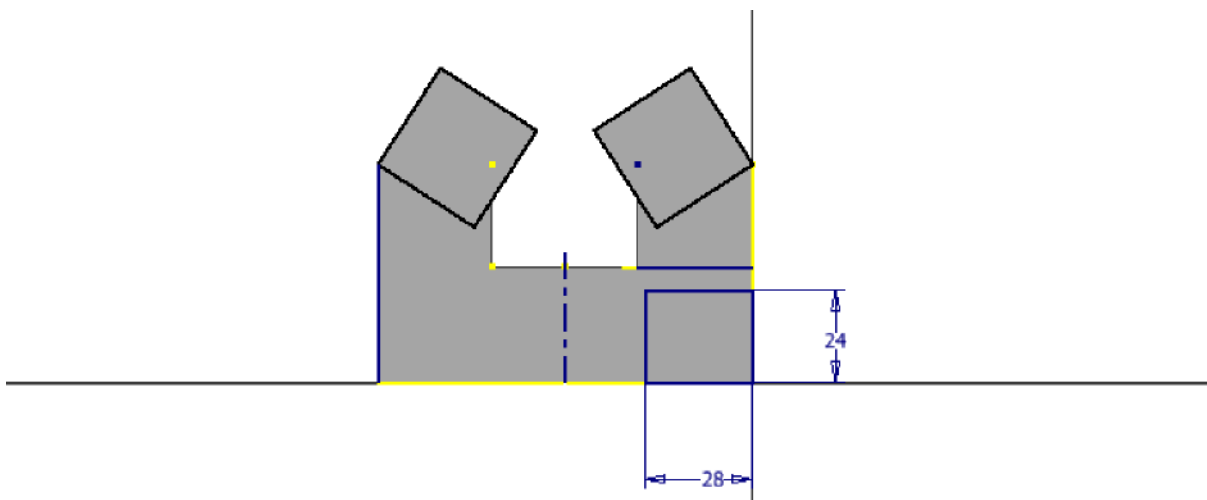
3 KONSTRUKCE CELY

Jako rovinu zrcadlení volíme pomocnou pracovní rovinu. Nově vzniklé drážky jsou zeleně znázorněny na obrázku 3.6. Světle modře jsou označeny původní drážky.



Obrázek 3.6: Ozrcadlené drážky na protější straně.

Další operací je vymodelování úchytů na zachycení galvanické cely do linky. Úchyty jsou vytvořeny pomocí příkazu náčrt do levého boku dosud vytvořeného modelu. Zde je veden z pravého dolního rohu obdélník o rozměrech 24 x 28 mm viz obrázek 3.7. Tento obdélník je následně převeden na 3D těleso pomocí příkazu „Vysunutí“.



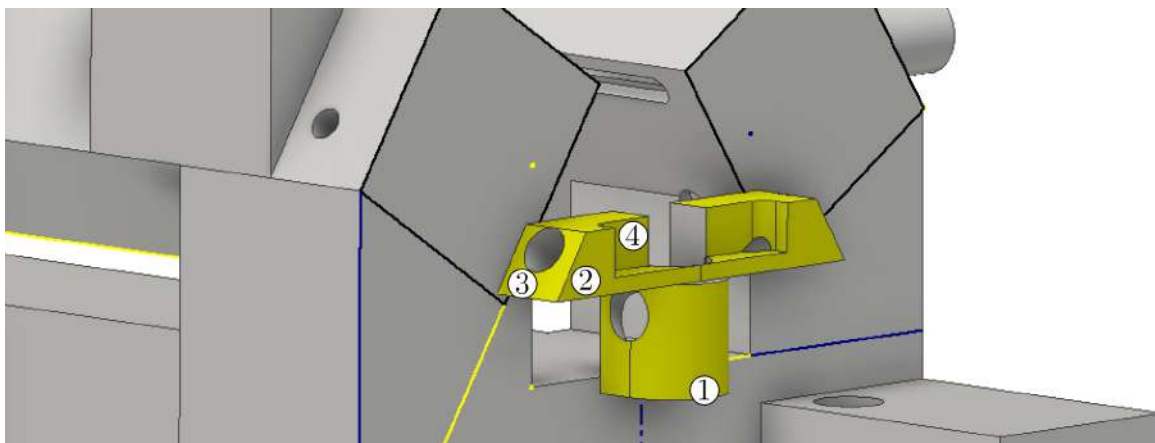
Obrázek 3.7: Náčrt do levého boku galvanické cely.

Poslední operací na dokončení úchytu je vytvoření díry. Ta je vytvořena pomocí bodu v náčrtu do horní plochy kváдру. A poté provedením operace „Díra“.

Z důvodu, že se úchyt nachází i na pravém boku galvanické cely, je nutné provést výše zmíněné operace na protější straně modelu.

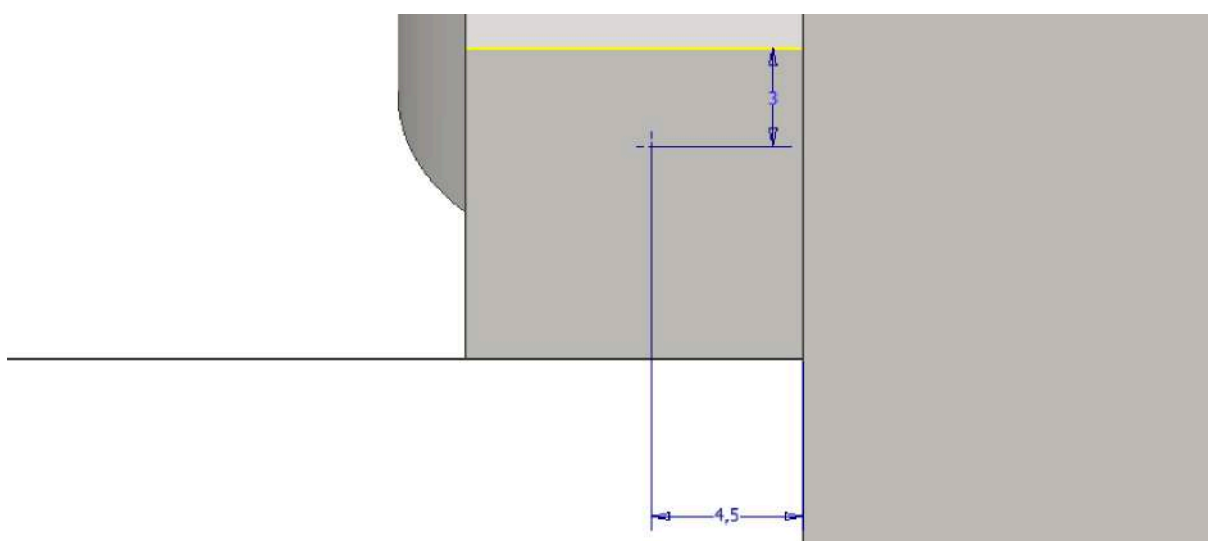
V následujících operacích je vytvořen držák na příslušenství pro galvanickou celu. Celý držák je označen na obrázku 3.8 žlutě.

Konstrukce držáku je modelována postupem následujících operací. Nejprve vytvořením polokružnice a jejím vysunutím (bod 1 na obrázku 3.8). Poté na vzniklém objektu vytvořením obdélníku. Ten je následně také vysunut (bod 2). Boční hrany horního kváдру



Obrázek 3.8: Žlutě znázorněný držák na příslušenství.

jsou zkoseny pomocí příkazu „Zkosení“ o vzdálenost 5mm zboku a 8mm shora (bod 3). Poslední operací pro vytvoření držáku na příslušenství je operace vysunutí odebráním do horní plochy horního kvádru o 6mm směrem dolů (bod 4). Díry jsou do držáku vytvořeny příkazem „Díra“ a vybráním bodů vytvořených na plochách pomocí náčrtů viz obrázek 3.9.

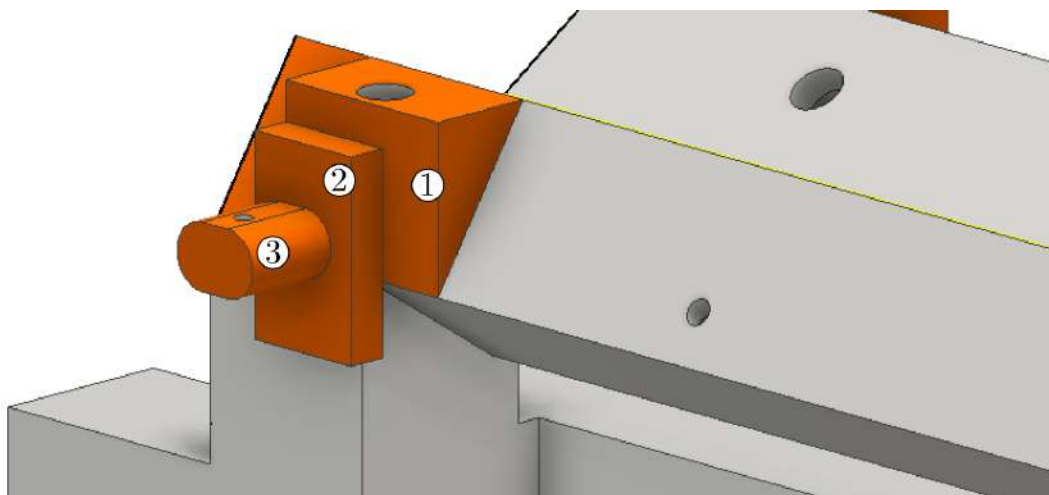


Obrázek 3.9: Bod pro vytvoření díry na zkosení držáku.

Držák je na galvanické cele umístěn z obou stran, proto se využije příkazu zrcadlení jako při vytváření výtokových drážek. Nejprve je však nutné vytvořit novou pracovní rovinu protínající střed cely orientovanou rovnoběžně s počáteční rovinou XZ.

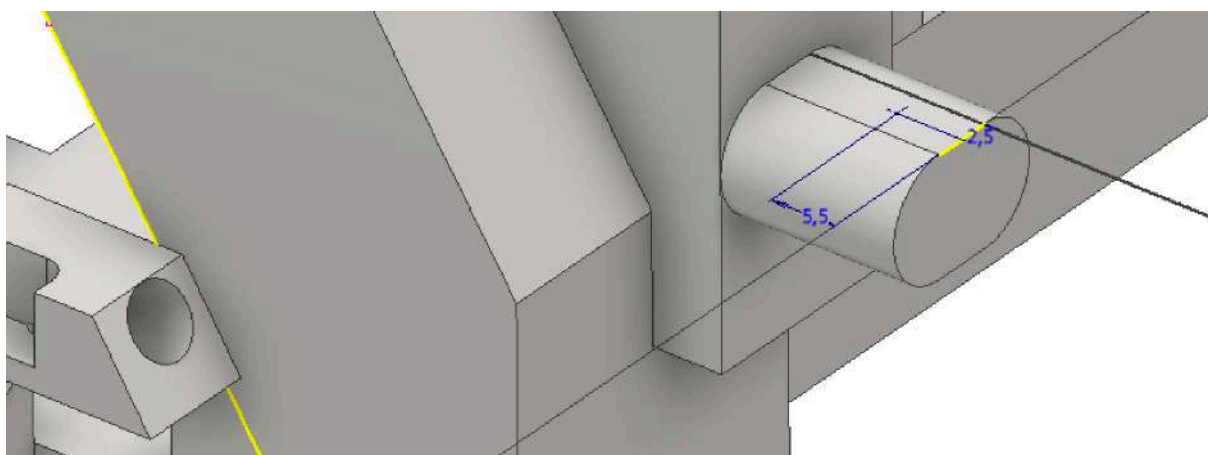
Dalším krokem je vytvoření stříšky a kolíku pro umístění dalšího příslušenství. Stříška s kolíkem je znázorněna na obrázku 3.10.

Konstrukce stříšky je modelovaná pomocí náčrtu do stojny. Vytvořený trojúhelník v náčrtu je vysunut směrem k modelu (bod 1 v obrázku 3.10). Následující operací je zkonstruování kvádru pomocí náčrtu a vysunutí na přední plochu stříšky (bod 2). Dalším krokem je vytvoření kolíku. Kolík vznikne pomocí náčrtu do přední plochy kvádru



Obrázek 3.10: Oranžově znázorněna stříška a kolík.

a jeho následným vysunutím. Díry jsou do stříšky a kolíku vytvořeny příkazem „Díra“ a vybráním bodů vytvořených na plochách pomocí náčrtů viz obrázek 3.11.



Obrázek 3.11: Bod v horní straně kolíku pro vytvoření díry.

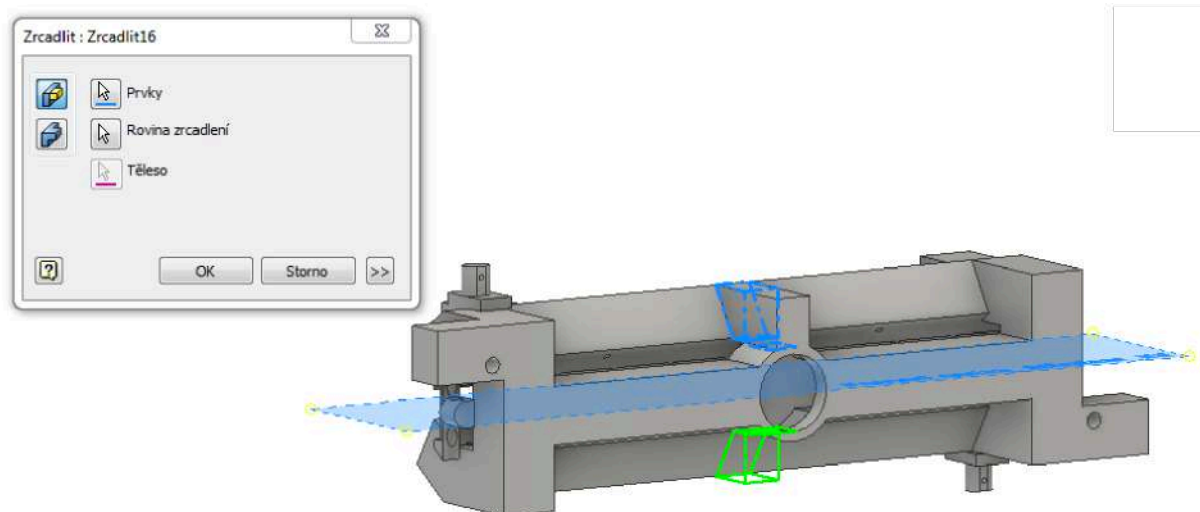
Stříška je na galvanické cele umístěna 4x symetricky. Pomocí zrcadlení jsou stříšky zrcadleny přes pracovní roviny vytvořené dříve viz obrázek 3.11. Druhý kolík je vytvořen podobně jako první do opačné stříšky blíže úchytu.

Předposledním krokem k vytvoření modelu odpovídajícího reálnému a výkresové dokumentaci zbývá přidání děr. Díry jsou vytvořeny pomocí bodů v náčrtu na příslušných plochách a následným zrcadlením přes pracovní roviny.

Původní závity nacházející se na reálné součásti jsou v modelu nahrazeny dírami, z technologických důvodů. Závity by nebylo možné vyrobit pomocí metody FDM (závity jsou na galvanické cele velmi často používány, a proto by mohlo dojít k jejich velmi rychlému opotřebení). Díry jsou zvoleny větší pro následné vložení závitové vložky.

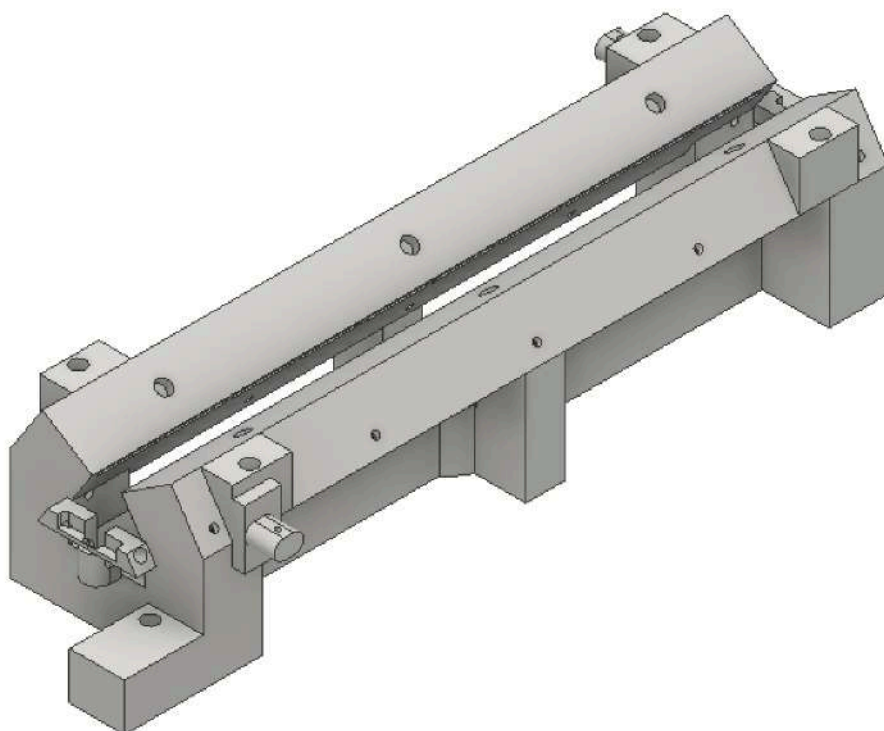
Posledním krokem je přidání dvou podpěrných sloupků. Tyto sloupky jsou domodelovány z technologických důvodů. Součást bude ve výrobě pravidelně střídat dvě různé teplotní prostředí. Plasty mají oproti kovům velkou teplotní roztažnost a tudíž by moh-

lo dojít k propadnutí části galvanické cely. Pomocí vysunutí dojde k vytvoření nosného sloupku a následně zrcadlením přes rovinu procházející středem cely vzniká druhý.



Obrázek 3.12: Zrcadlení nosného sloupku.

Výsledná podoba galvanické cely je znázorněna na obrázku 3.13.



Obrázek 3.13: Výsledná podoba galvanické cely.

4 VÝROBA SOUČÁSTI

Kapitole 4 Výroba součásti je věnována podrobnému popisu výroby galvanické cely podle teoretických znalostí podrobně rozebraných v kapitole 1 a 2.

4.1 Výběr materiálu pro 3D tisk

Nově vyrobená galvanická cela pomocí 3D tisku by měla splňovat následující kritéria:

- Chemická odolnost
- Dostatečná pevnost – zaručeno tiskem v celku
- Hladký povrch

Galvanická cela je v provozu vystavena nepříznivým chemickým podmínkám. Elektrolyt procházející celou je roztok kovové soli, rozpouštědla a přídavných látek. Tyto roztoky jsou slabě, ale některé i silně zásadité. Zároveň může cela přijít do kontaktu s kyselinami.

Proto jako prvním kritériem pro tisk bylo nutné vyhledat metodu, která nabízí možnost tisknout z chemicky odolných materiálů. Mezi tyto metody se zařadila Fused Deposition Modeling a Selective Laser Sintering. Materiály odolné chemickým látkám v provozu galvanovny byly předpokládány za FDM termoplasty ABS, PC, Nylon 12, PPSF⁷ a Ultem⁸ a za metodu SLS termoplast PEEK⁹.

Tabulka 4.1: Důležité hodnoty z protokolu o měření chemické odolnosti FDM materiálů.

Materiál	ABS	PC	Nylon 12
Struktura tisku:	0,254mm	0,254mm	0,254mm
Hmotnost před (g):	1,3353	0,5914	1,1268
Aktivace H ₂ SO ₄ (5%) (g):	1,3332	0,5905	1,1185
Au lázeň (g):	1.3363	0,5918	1,1202
Ag lázeň (g)	1.3385	0,5913	1,1212
Zhodnocení:	Uspěl	Uspěl	Neuspěl

Pro potvrzení předpokladu bylo provedeno testování v chemické laboratoři celkem 3 termoplastů: ABS, Polykarbonát (PC), Nylon 12. U zbylých materiálů PPSF, Ultem a PE-EK výrobce v produktových listech deklaruje excelentní chemickou odolnost (u ABS, PC a nylonu pouze dobrou odolnost). Testování probíhalo jednoduchým hmotnostním testem.

⁷Polyphenylsulfone - termoplast s velmi dobrými chemickými vlastnostmi.

⁸Polyetherimidová vlákna - termoplast vyvinutý společností Stratasys.

⁹Polyetherketonový polymer - termoplast s velmi dobrými chemickými a mechanickými vlastnostmi.

4 VÝROBA SOUČÁSTI

Tento test spočívá v průběžném vážení vzorků termoplastů po působení chemikáliemi. Lze tak zjistit jestli se nerozpouští – snižují svoji hmotnost. Vzorky byly nejdříve vysušeny a zváženy. Následně ponořeny do elektrolytu na 24 hodin a po uplynutí času opět vysušeny a zváženy. Tyto operace se opakovaly pro všechny typy elektrolytů využívané ve výrobní lince galvanického provozu, kde bude využívána tato galvanická cela. V tabulce 4.1 (nebo podrobněji v příloze B) jsou uvedeny jednotlivé hmotnosti z měření pro ABS, PC, Nylon. Z této zkoušky po prvním testu vypadl materiál Nylon. Neodolal elektrolytu a jeho hmotnost se výrazně změnila. Oba zbylé termoplasty ABS a PC testem prošly úspěšně.

4.2 Výběr metody Rapid Prototyping

Dalším nutný parametrem pro tisk byla dostupnost 3D tiskárny s pracovní plochou dostačující namodelované součásti. FDM metoda je celosvětově rozšířenější, i u nás nejbližší dostupná tiskárna s tiskovou plochou 406 x 355 x 406mm Fortus 450mc nabízí kuřimská společnost MCAE Systems. SLS tiskárna s možností tisku termoplastu PEEK a pracovní plochou dostačující nejdelšímu rozměru galvanické cely je dostupná v německém Mnichově u společnosti EOS. Z důvodů dostupnosti tisku byla vybrána metoda FDM.

Tiskárna Fortus 450mc nabízí možnosti tisku všech termoplastů z portfolia Stratasys. Tedy i ABS, PC, PPSF a oba typy Ultem.

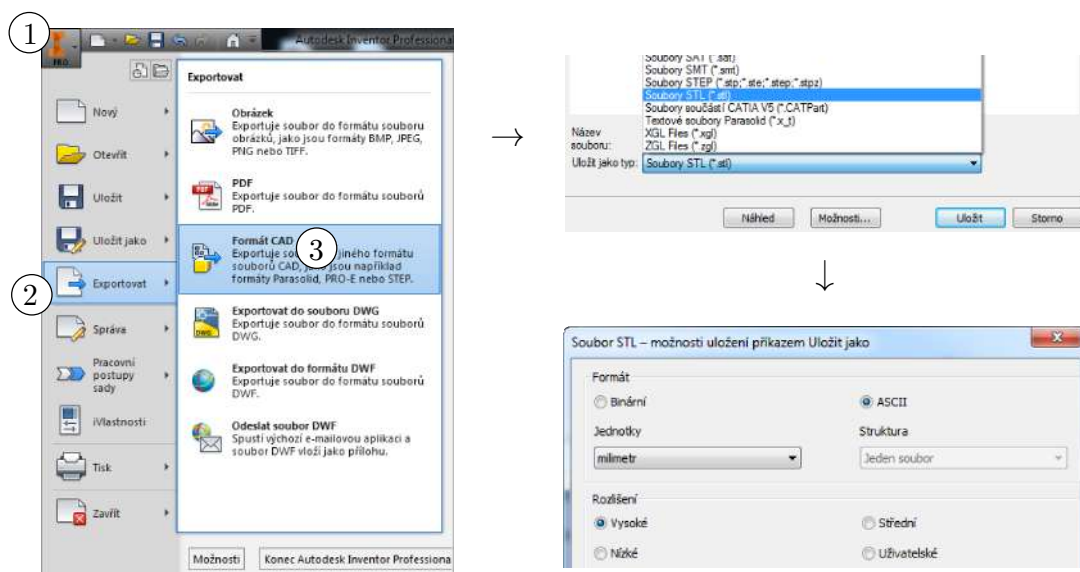
Z důvodu velmi složité konstrukce není možné mechanicky oddělit podpurný materiál od modelovacího a tudíž pro tento tisk musel být vybrán materiál, který umožňuje tisk s vyplatitelnými podporami. Termoplast PPSF a Ultem tuto možnost nenabízí.

Postupně se tedy výběr materiálu zúžil na ABS a PC. Nakonec byl vybrán termoplast ABS z důvodu, že nabízí možnost následného chemického vyhlazení a tak dosáhnutí téměř dokonale hladkého povrchu.

4.3 Příprava dat pro 3D tisk

4.3.1 Převod modelu do formátu STL

Nejdříve je nutné začít převedením vymodelované galvanické cely (popis konstrukce v kapitole 3) do formátu STL. Většina parametrických CAD softwaru umí exportovat vytvořený model do souboru STL. V programu Autodesk Inventor lze model převést do formátu STL pomocí příkazu „Exportovat“, poté „Formát CAD“ a následně výběrem „Soubory STL (.stl)“ v sekci uložit jako typ. Kliknutím na tlačítko „Možnosti“ lze ručně upravit parametry souboru. V tomto případě zůstane výběr: formát ASCII, jednotky milimetry a rozlišení vysoké. Příkazem „Uložit“ vznikne nový soubor galvanicka-cela.stl. Celý postup je znázorněn na obr 4.1



Obrázek 4.1: Postup k exportu modelu do STL.

4.3.2 Rozdělení modelu na vrstvy

Dalším krokem před samotným tiskem součásti je rozdělení modelu na vrstvy. K tomu se využívají tzv. slicerovací softwary. Těchto programů existuje celá řada, ale u 3D tisku na profesionální tiskárně je vždy využíván tisk pomocí softwaru určeného pro konkrétní tiskárnu. V našem případě budeme galvanickou celu tisknout na tiskárně Stratasys Fortus, pro níž je určen software vyvinutý společností Stratasys - Insight.

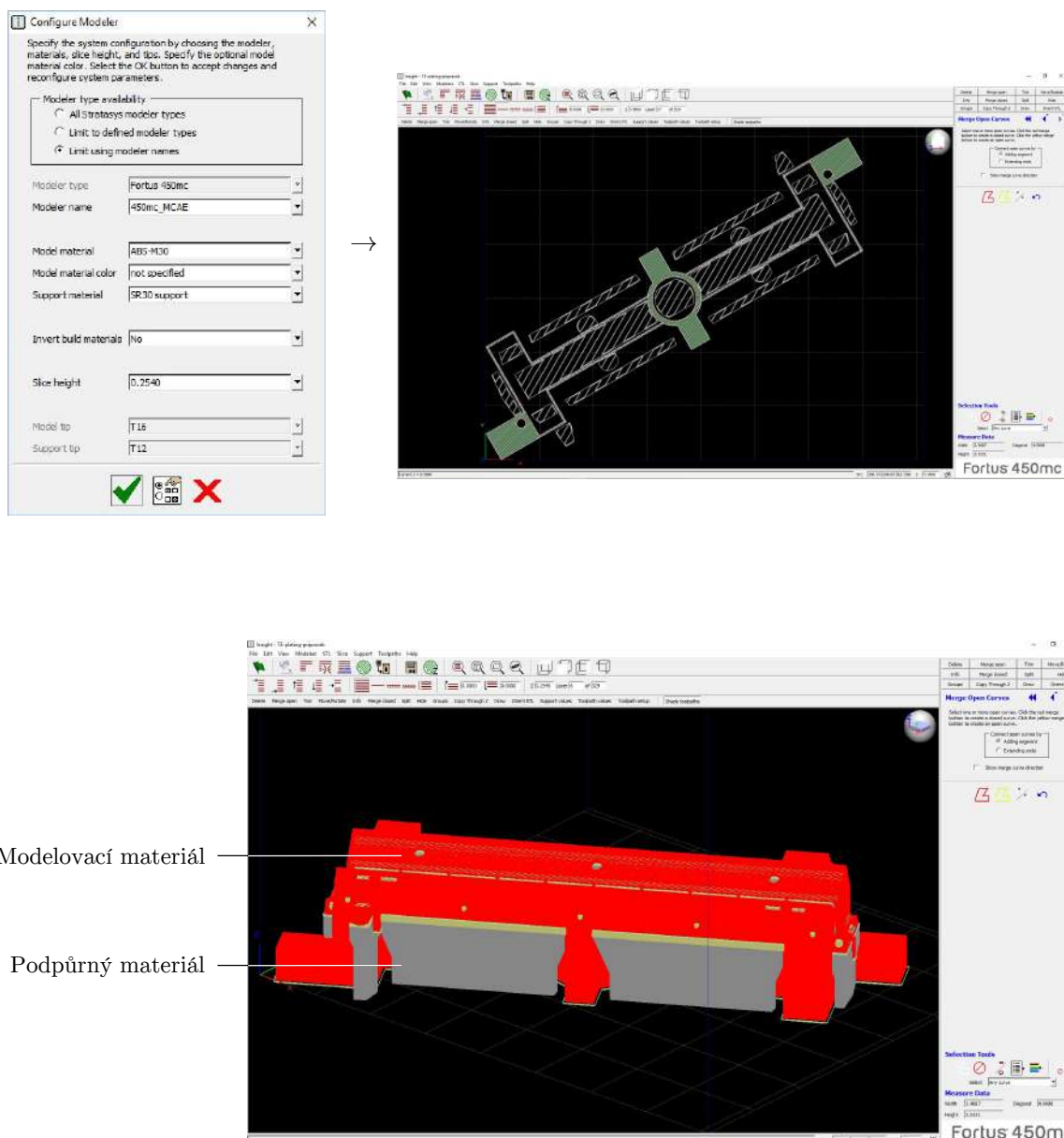
Přechodný soubor stl je v programu Insight otevřen. Model se zobrazí na virtuální pracovní ploše tiskárny. Pozici cely nastavíme tak, aby celá ležela na tiskové ploše tiskárny Fortus 450mc, která je 406x406mm. Galvanická cela má šířku větší než pracovní šířka tiskárny a proti je nutné otočit celu na virtuální podložce úhlopříčně. Na obr 4.2 je zobrazeno natočení galvanické cely na pracovní podložce.

Ještě než program rozdělí model na vrstvy musíme v softwaru nastavit tloušťku vrstvy a materiál, ze kterého budeme tisknout. V našem případě je zvolen plast ABS (bylo už zmíněno v kapitole 4.1) a podpurný materiál SR30. Tloušťku vrstvy nastavíme na 0.254mm. Posledním volitelným parametrem je výplň uzavřených tisknutých ploch. Abychom zajistili vyšší pevnost galvanické cely nastavíme plnou výplň „tzv. Solid“.

Tlačítkem se zelenou vlaječkou model rozdělíme na vrstvy. Celkem je model rozdělen na 329 vrstev. Postupně projdeme všechny vrstvy cely a zkontrolujeme jestli na některé vrstvě nevznikne nějaká chyba, která by ve výsledku mohla způsobit při tisku poškození modelu. Na obrázku 4.2 je fotka obrazovky na níž je viditelná 27 vrstva (označená zeleným obrysem). Bílým obrysem jsou viditelné nižší vrstvy. V programu Insight je také možné zobrazit a zkontrolovat podpory.

Posledním krokem před posláním dat do tiskárny model otevřeme v softwaru Control Center. Tento program nám vypočítá objem použitého stavějícího a podpurného materiálu a také celkový čas tisku. Na obrázku 4.3 je znázorněn fotka obrazovky, na které je znázor-

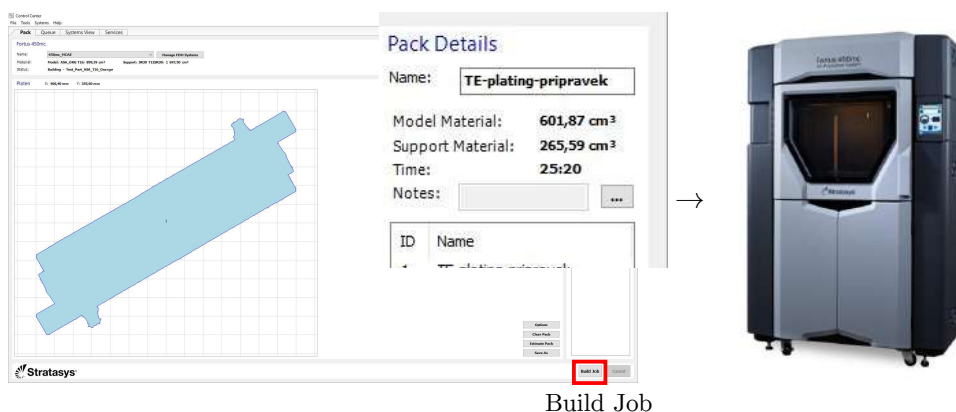
4 VÝROBA SOUČÁSTI



Obrázek 4.2: Postupné nastavení galvanické cely v software Insight.

něh celkový čas **25 hodin 20 minut** a také množství použitého materiálu **601,87cm³ + 265,59cm³** podpůrného materiálu.

K zahájení tisku zbývá kliknout na tlačítko „Build Job“. Tím odešleme model do 3D tiskárny pomocí síťového kabelu.

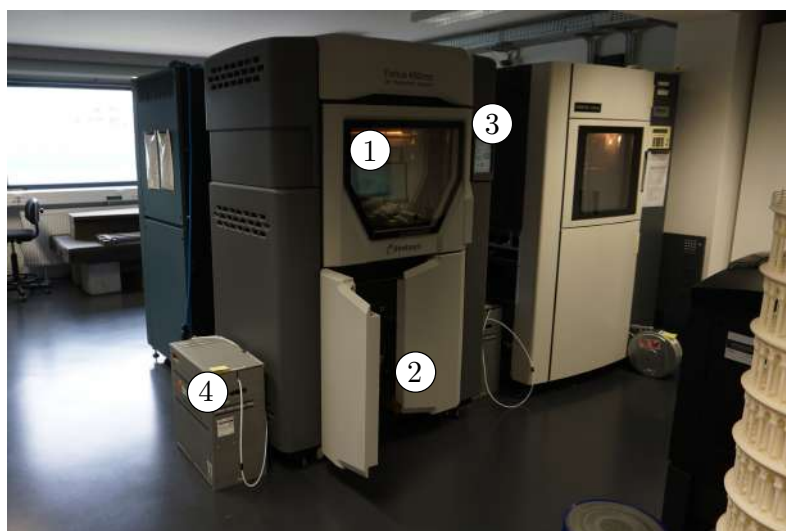


Obrázek 4.3: Odeslání dat z Control center do tiskárny Stratasys Fortus 450mc [26].

4.4 Tisk součástí

4.4.1 Tiskárna Fortus 450mc

Model galvanické cely je tisknut na profesionální 3D tiskárně Fortus 450mc vyvinuté americkou společností Stratasys Inc. Tiskárna se řadí mezi světovou špičku. Nabízí velice přesný a odolný tisk. Na zařízení je možné tisknout z několika průmyslových termoplastů. Oproti konkurenčním zařízením je Fortus 450mc výrazně rychlejší [27, 28].



- 1 – pracovní komora
- 2 – zásobníky na materiál
- 3 – dotykový displej
- 4 – externí materiál

Obrázek 4.4: Popis částí profesionální 3D tiskárny Fortus 450mc.

Fortus 450mc nabízí pracovní plochu 406x355x406mm. Pracovní plocha je uzavřena v tiskárně a během tisku není možné bez zastavení tisku jakkoliv zasahovat do výroby součástí. Uzavřená komora zajišťuje, že se z tiskárny nešíří žádné škodlivé plyny a chemikálie. Tryska je přizpůsobena na tisk chemicky a tepelně odolných materiálů jako jsou Ultem nebo PPSF. V dolní části tiskárny jsou 2 zásobníky na materiál. V zařízeních Fortus je možné tisknout pouze certifikované materiály Stratasys. Na obrázku 4.4 jsou označeny hlavní části tiskárny [27, 28].

4 VÝROBA SOUČÁSTI

V přední části zařízení je dotykový displej pro snadnější ovládání tisku [27, 28].

V tabulce 4.2 jsou podrobnější specifikace tiskárny Fortus 450mc.

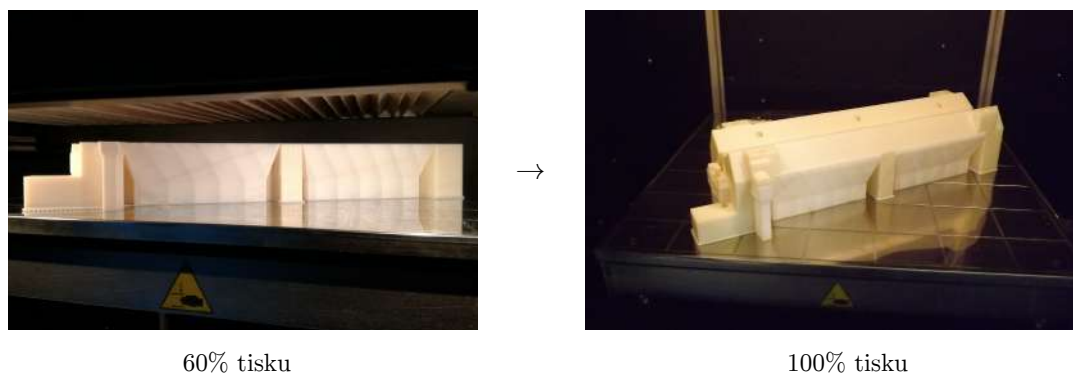
Tabulka 4.2: Specifikace tiskárny Fortus 450mc [29]

Stratasys Fortus 450mc	
Velikost modelovacího prostoru	406 × 355 × 406 mm
Modelovací materiál	Dvě přihrádky pro materiál a dvě pro kanistr podpůrného materiálu
Varianty materiálu	ABS-ESD7, ABS-M30, ABS-M30i, ASA, FDM Nylon 12, PC, PC-ABS, PC-ISO, ULTEM® 9085, ULTEM® 1010, ST-130
Rozměry a hmotnost systému	1295 mm × 902 mm × 1984 mm, 601 kg
Dosažitelná přesnost	± 0,127 mm nebo ± 0,0015 mm
Síťová komunikace	Připojení 10/100BASE-T. Protokol sítě Ethernet
Přítomnost obsluhy	Vyžaduje omezenou přítomnost při spuštění a zastavení úlohy
Software	Insight a Control Center

4.4.2 Průběh 3D tisku

Před zahájením tisku na průmyslové tiskárně Forstu 450mc je nejdříve zaveden modelovací a podpůrný materiál. Jako modelovací materiál je nastaven termoplast ABS-M30 v barvě Ivory (slonovinová béžová). Produktový list vybraného materiálu je přiložen v příloze. Jako podpůrný materiál je nastaven speciální filament dodávaný firmou Statasys - SR-30. Do pracovního prostoru je přiloženo na pracovní podložku plexisklo, pro následné snadnější odstranění modelu z podložky. V tento okamžik je tiskárna připravena pro výrobu. Data ze softwaru Control Center a Insight jsou přeposlána přes síťové připojení do tiskárny. V tento okamžik začíná 3D tisk.

Průběh tisku je znázorněn na obrázku 4.5.



Obrázek 4.5: Průběh tisku.

Po uplynutí tiskového času je model vytisknut. Nyní začíná další část procesu 3D tisku - postprocessing.

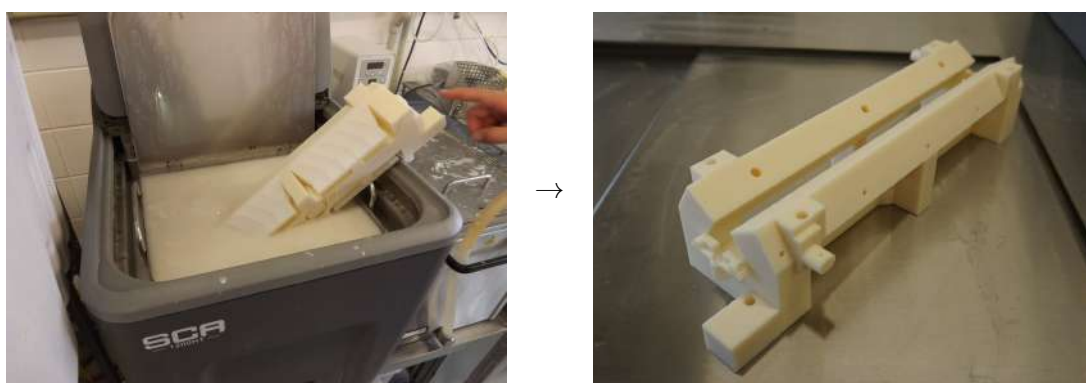
4.5 Postprocessing

Jak už bylo zmíněno v teoretické části bakalářské práce. Postprocessing označuje dokončovací operace po vytvoření výrobků aditivními metodami.

Při výrobě galvanické cely je využito dvou základních postprocessingových operací. První je odstranění podpor vyplavením v chemickém roztoku a následně bude provedeno chemické vyhlazování pomocí par acetonu.

4.5.1 Odstranění podpor

Po vyjmutí modelu ze zařízení Fortus jej odejmeme z podložky a vložíme do průmyslové pračky SCA-1200HT. V pračce je při teplotě 71°C roztok speciálního prášku WaterWorks Soluble Concentrate P400SC. Ten společně s vodou slouží jako rozpouštědlo podpůrného materiálu SR-30. Během rozpouštění podpor by nemělo dojít k žádnému narušení povrchu modelovacího materiálu ABS. Po cca 24 hodinách v pračce dojde k rozpuštění celého podpůrného materiálu. Na obrázku 4.8 je znázorněn postup odstranění podpor.



Obrázek 4.6: Odstranění podpor z výrobku.

Poté je model z pračky vyjmut a před chemickým vyhlazením se musí vysušit.

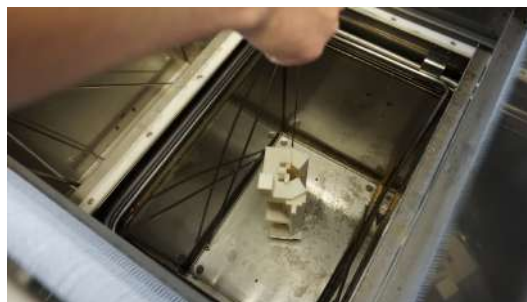
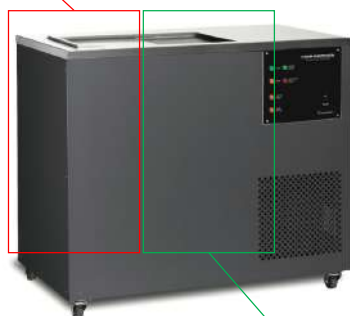
4.5.2 Chemické vyhlazení

Po důkladném vysušení je model vložen do vyhlazovací stanice Stratasys Smoothing Station 4000. Zařízení je rozděleno na dvě části viz obrázek 4.7.

V první části je model podchlazen. Aby došlo k úplnému ochlazení galvanické cely, byla do první části vložena na dobu 30 minut. Po vypršení času byla cela přesunuta do druhé části vyhlazovací stanice. Druhá část obsahuje výpary acetonu. Právě v acetonu se rozpouští použitý termoplast ABS. Tím, že je na velmi krátký okamžik cela vložena do

4 VÝROBA SOUČÁSTI

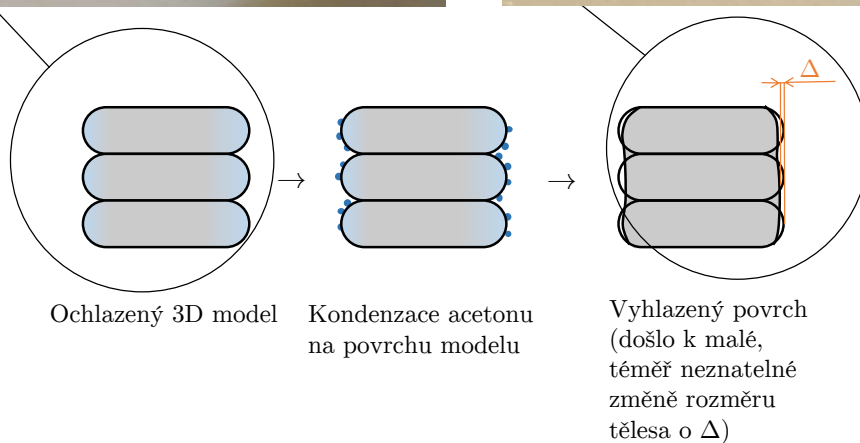
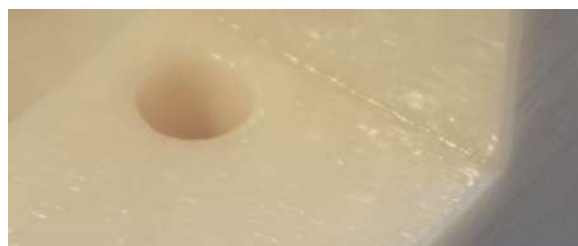
Ochlazovací komora



Pravá komora s výpary acetonu

Obrázek 4.7: V levé části obrázku je Smoothing station 4000 od společnosti Stratasys, v pravé komora s acetonovou párou [30].

výparů, dojde ke kondenzaci pár na ochlazeném povrchu. Vzniklé malé kapičky acetonu rozpustí povrchové výstupky a dojde ke slití povrchu. Schéma na obrázku 4.7 znázorňuje princip vyhlazení stěny 3D modelu acetonem.



Obrázek 4.8: Popis chemického vyhlazení.

4.6 Kompletování

Posledním krokem výroby galvanické cely je vložení závitových vložek do připravených děr. Díry byly v konstrukci navrženy s menším průměrem. Pro závitovou vložku M6 /10x14

byly voleny díry průměru 8,5mm. Z důvodu chemické odolnosti byla vybrána nerezová závitová vložka Ensats 302 M6/10x14 samořezná. V příloze E je přiložen produktový list.

Pomocí závitníku byl do vytisknuté díry vytvořen závit. Celkem bylo vloženo do předřezaných děr 12 vložek.

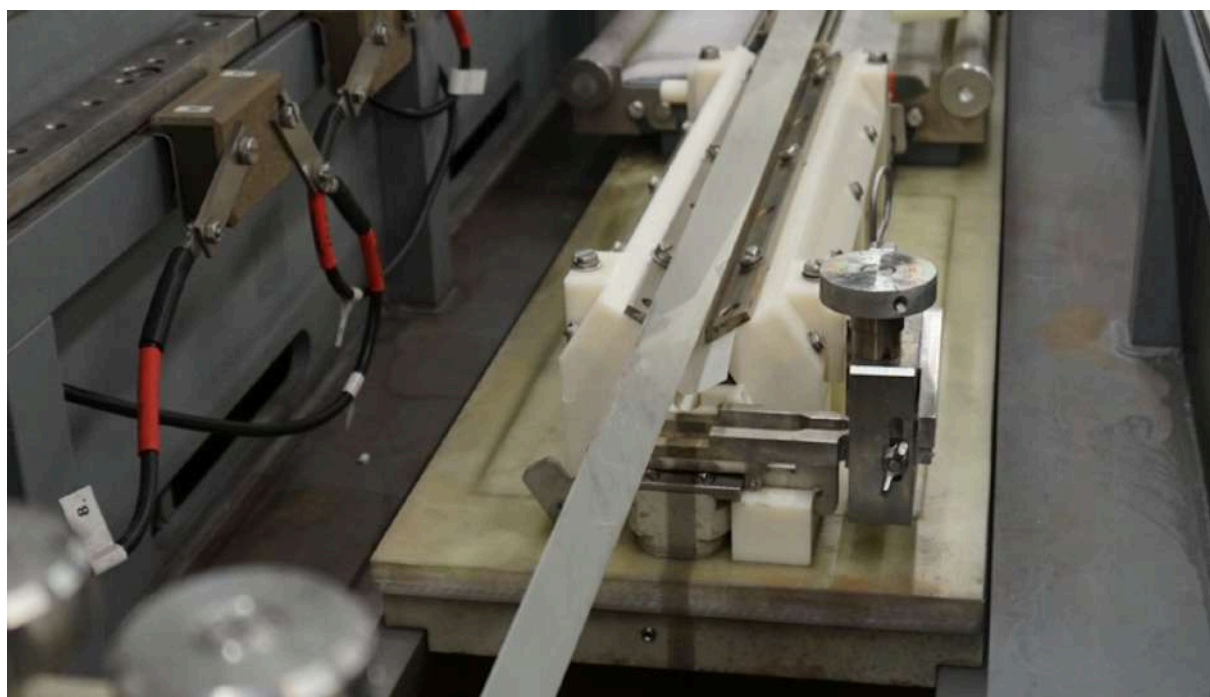
4.7 Součást v provozu

Po úplném zkompletování je galvanická cela připravena na testovací provoz. V předchozích operacích se zajistilo splnění všech nutných předpokladů pro použití v galvanickém provozu:

- Cela vyrobená z materiálu ABS-M30 zajišťuje chemickou odolnost proti nepříznivé galvanické lázni. Zajišťuje odolnost od pH3 do pH14. PH chemické lázně se pohybuje okolo pH 4 a je pravidelně kontrolováno aby nedošlo ke změně.
- Hladkost povrchu je zajištěna pomocí chemického vyhlazení povrchu
- Tiskem na profesionální tiskárně Fortus bylo možné vytisknout celou vcelku

Cela je umístěna do galvanické linky. Nasazena a zajištěna na ventil. Pomocí čerpadla je do cely načerpán elektrolyt obsahující částičky zlata. Při prvním testování, které probíhalo cca 30 minut nebyly na cele znát žádné náznaky opotřebení.

Pro úplné nasazení galvanické cely do provozu bude nutné delší testování v provozu, avšak všechny dosud nepříznivé podmínky cela vydržela. Dá se tedy předpokládat, že výrobek bude plně funkční a v blízké době dojde k jeho plnému využití v ostrém provozu.



Obrázek 4.9: Galvanická cela v lince.

ZÁVĚR

Záměrem bakalářské práce bylo vybrat vhodnou metodu aditivní technologie pro výrobu zařízení pokovujícího automobilové kontakty a vyrobit galvanickou celu, která bude plně funkční a bude splňovat všechny dosavadní kritéria používané cely v provozu. Dosavadní cela využívaná v galvanovně je vyrobena z nerezových svařovaných profilů. Dalším požadavkem bylo snížení celkových nákladů a výrobního času na zhotovení galvanické cely. Celkové náklady se na výrobou pomocí 3D tisku oproti původním snížily o více než 60%. Výrobní čas se z původních 6 týdnů snížil na pouhé 2 dny. Zároveň se podařilo snížit celkovou hmotnost na polovinu.

V první kapitole je popsán princip a postup výroby pomocí technologií Rapid Prototyping. Jsou zde popsány jednotlivé metody RP. Největší důraz je kladen na technologii Fused Deposition Modeling z důvodu, že byla vybrána pro výrobu součástí. Tato metoda jako jediná splňovala všechny požadavky na 3D tisk: chemickou odolnost, zaručení dostatečné pevnosti, hladký povrch bez pórů.

Chemickou odolností se myslí resistivita proti chemikáliím obsaženým v chemické lázni galvanického procesu zlcení a stříbření. Převážně se jedná o zásadité látky a slabé kyseliny. Dostatečné pevnosti se dosáhlo tiskem v celku, čili byla využita profesionální 3D tiskárna s velkou tiskovou plochou Fortus 450mc.

Ve druhé kapitole je rozebrán princip elektrochemického pokovování a galvanického procesu. Je zde popsáno, jak vyráběná součást funguje a k čemu se využívá.

Ve třetí kapitole je podrobný postup modelování galvanické cely v parametrickém CAD softwaru Autodesk Inventor. Model je navrhnut tak, aby zohlednil všechny nutnosti 3D tisku metodou FDM, tedy dostatečnou tloušťku vrstev a děr. Model je zkonstruován tak, aby nedošlo k nežádoucím porušením vlivem tepelné roztažnosti.

V poslední kapitole je popsán výběr nejvhodnější metody výroby včetně následných úprav výrobku. Vybraný materiál ABS-M30 je chemicky odolný a nabízí možnost tisku velmi složitých a uzavřených tvarů, u kterých je nutné následné chemické rozpuštění podpor. Zároveň je u tohoto materiálu možné povrchové vyhlazení pomocí par acetonu. Výsledný model tak získal hladký a vyhlazený povrch i ve vnitřních částech.

Závěrem lze konstatovat, že i u funkčních součástí, které jsou velmi složité na konstrukci a vyžadují vysokou odolnost vůči chemickým a teplotním změnám, je možné využít technologie Rapid Prototyping původně určené pro výrobu modelů a prototypů.

ZÁVĚR

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Wohlers Report 2014 - Executive Summary*. [online]. 1st. Colorado: Wohlers Associates, 2014 [cit. 2017-04-14]. ISBN 978-0-9913332-0-2. Dostupné z: <https://wohlersassociates.com/2014-ExSum.pdf>.
- [2] *RAPID PROTOTYPING*. [online]. Ondřejov: 3D Tech, 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.3dtech.cz/rapid-prototyping/>.
- [3] *History of 3D Printing*. [online]. London: 3D Printing Industry, 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history/>.
- [4] GIBSON, I., D. W. ROSEN a B. STUCKER. *Additive manufacturing technologies*. New York: Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-1120-9.
- [5] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [6] *What is 3D printing?* [online]. Belgium: Materialise, 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://i.materialise.com/learn/what-is-3d-printing>.
- [7] CHUA, Chee Kai. a Kah Fai. LEONG. *3D printing and additive manufacturing*. Fourth edition of Rapid prototyping. Singapore: Singapore : World Scientific, 2015. ISBN 978-981-4571-40-1.
- [8] SLOTA, Ján, Martin MANTIČ a Ivan GAJDOŠ. *Rapid Prototyping a Reverse Engineering v strojárstve*. Vyd. 1. Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 2010. ISBN 978-80-553-0548-6.
- [9] AARNIO, Seppo. *RAPID PROTOTYPING* [online]. Cottbus: HAMK, 2010 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: http://www3.hamk.fi/metnet/Documents/RAPID%5C%20PROTOTYPING_COTTBUS_2010.pdf.
- [10] *Process Selector*. [online]. Olney: CustomPartNet, 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: www.custompartnet.com/rapid-process-selector.
- [11] SEDLÁK, Josef. *Aditivní technologie – metody Rapid Prototyping* [online]. Brno: UST, 2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_techologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf.
- [12] *Plastic Materials*. [online]. North America: 3D Systems, 2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/materials/plastic>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [13] *3D Printing Processes*. [online]. Rexburg: PrintSpace 3D, 2016 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <https://www.printspace3d.com/what-is-3d-printing/3d-printing-processes/>.
- [14] BENIAK, Juraj. *Systémy Rapid Prototyping*. 1. vydanie. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2014. ISBN 978-80-227-4287-0.
- [15] *About Us*. [online]. Taiwan: XYZprinting, 2017 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: http://eu.xyzprinting.com/eu_en/AboutUs.
- [16] *Stratasys is Shaping Our World*. [online]. Eden Prairie: Stratasys, 2017 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/corporate/about-us>.
- [17] *Inkjet Printing*. [online]. Olney: CustomPartNet, 2017 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/inkjet-printing-small.png>.
- [18] *Laser Sintering*. [online]. Belgium: Materialise, 2017 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <https://i.materialise.com/3d-printing-technologies/laser-sintering>.
- [19] *Selektivní laserové slinování polymerů*. [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, 2013 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/selektivni-laserove-slinovani-polymeru.html>.
- [20] *Direct Metal Laser Sintering Materials*. [online]. Valencia: Stratasys Direct, Inc., 2017 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <https://www.stratasysdirect.com/materials/direct-metal-laser-sintering/>.
- [21] *What is Laminated Object Manufacturing?* [online]. New York: Live Science, 2013 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.livescience.com/40310-laminated-object-manufacturing.html>.
- [22] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1472-X.
- [23] *Princip galvanického pokovování*. [online]. Hamburg: Wikimedia Commons, 2010 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Galvanick%C3%A9_pokovov%C3%A1n%C3%AD#/media/File:Copper_electroplating.svg.
- [24] KOHOUT, Vladislav. *Povrchová úprava* [online]. Kadaň: SOŠS a SOU, Kadaň, 5. května 680, příspěvková organizace, 2012 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/strojtech/VY_32_INOVACE_7_1_08_Povrchova_uprava%20\(1\).ppt](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/strojtech/VY_32_INOVACE_7_1_08_Povrchova_uprava%20(1).ppt).
- [25] *MCON Interconnection System*. [online]. United States: TE, 2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://www.te.com/content/dam/te-com/images/automotive/global/products/mcon-8-b-product-carousel.jpg>.
- [26] *Fortus 450mc*. [online]. Kuřim: MCAE, 2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: http://www.mcae.cz/wp-content/uploads/2016/11/fortus450_big.jpg.

- [27] *Fortus 380mc a 450mc*. [online]. Kuřim: MCAE, 2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/produkty/fortus-380mc-a-450mc/>.
- [28] *Fortus 380mc and Fortus 450mc*. [online]. Eden Prairie: Stratasys, 2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/3d-printers/production-series/fortus-380-450mc%5C#content-slider-1>.
- [29] *Fortus 380mc a 450mc*. [online]. Kuřim: MCAE, 2016 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: http://www.mcae.cz.web7.web4ce.cz/wp-content/uploads/2017/03/PSS_FDM_380mc450mc_A4_0416a_CZ_web.pdf.
- [30] *Finishing Touch Smoothing Station*. [online]. Eden Prairie: Stratasys, 2017 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://usglobalimages.stratasys.com/en/3D%5C%20Printers/Production%5C%20Series/Finishing%5C%20Touch%5C%20Smoothing%5C%20Station/smoothing-machine.png>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

2D	dvourozměrný
3D	trojrozměrný
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
ASA	Akrylonitril Styren Akryl
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CAD	Computer Aided Drafting
CNC	Computer Numeric Control
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
FDM	Fused Deposition Modeling
HIPS	Houževnatý polystyren
Inc.	Incorporated
LOM	Laminated Object Manufacturing
MJM	Multi Jet Modeling
PC	Polykarbonát
PEEK	Polyetherketonový polymer
pH	vodíkový exponent
PLA	Polylactid acid
PPSF	Polyphenylsulfone
RP	Rapid Prototyping
SLA	Stereolithography

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SLS	Selective Laser Sintering
ST-130	Sacrificial Tooling Material
STL	Standard Tessellation Language
ULTEM	Polyetherimidová vlákna
UV	Ultrafialové záření

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1. Porovnání aditivní technologie s obráběním a odléváním. Zelený smajlík znázorňuje malý odpad nebo rychlou výrobu. Červený opak.	16
1.2. Proces výroby pomocí aditivní technologie [6].	16
1.3. Pohled pod mikroskopem na výslednou strukturu povrchu metodu a) vytváření tekutiny, b) spékání prášku, c) nanášení tuhých materiálů.	18
1.4. Metoda Stereolitografie [13].	19
1.5. Metoda Multi-Jet Modeling [17].	19
1.6. Metoda Selective Laser Sintering a Direct Metal Laser Sintering [13].	20
1.7. Metoda Laminated Object Manufacturing [21].	21
1.8. Metoda Fused Deposit Modeling [13].	22
2.1. Princip galvanického pokovování [23].	23
2.2. Galvanická cela.	24
2.3. Schéma výroby kabelového svazku s detailním pohledem na oblast pokovení [25].	25
3.1. Struktura součásti Galvanické cely.	27
3.2. Náčrt „Půdorys“.	28
3.3. Vysunutí horních kosočtverců vznikl hrubý tvar Galvanické cely.	28
3.4. Odebrání vnitřního materiálu pomocí příkazu „Skořepina“.	29
3.5. Vysunutí výstupních drážek.	29
3.6. Ozrcadlené drážky na protější straně.	30
3.7. Náčrt do levého boku galvanické cely.	30
3.8. Žlutě znázorněný držák na příslušenství.	31
3.9. Bod pro vytvoření díry na zkosení držáku.	31
3.10. Oranžově znázorněna stříška a kolík.	32
3.11. Bod v horní straně kolíku pro vytvoření díry.	32
3.12. Zrcadlení nosného sloupku.	33
3.13. Výsledná podoba galvanické cely.	33

4.1. Postup k exportu modelu do STL.	37
4.2. Postupné nastavení galvanické cely v software Insight.	38
4.3. Odeslání dat z Control center do tiskárny Stratasys Fortus 450mc [26].	39
4.4. Popis částí profesionální 3D tiskárny Fortus 450mc.	39
4.5. Průběh tisku.	40
4.6. Odstanění podpor z výrobku.	41
4.7. V levé části obrázku je Smoothing station 4000 od společnosti Stratasys, v pravé komora s acetonovou párou [30].	42
4.8. Popis chemického vyhlazení.	42
4.9. Galvanická cela v lince.	45

SEZNAM TABULEK

1.1. Porovnání technologií Rapid Prototyping [10].	18
4.1. Důležité hodnoty z protokolu o měření chemické odolnosti FDM materiálů. .	35
4.2. Specifikace tiskárny Fortus 450mc [29]	40

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Porovnání typů STL souborů
Příloha B	Test chemické odolnosti
Příloha C	Materiálový list ABS-M30
Příloha D	Katalogový list Fortus 450mc
Příloha E	Katalogový list závitové vložky

A Porovnání typů STL souborů

A.1 Binární STL soubor galvanické cely

Velikost souboru: 1,37 MB

Část kódu:

```
STLB ASM 221.01.00.0000 COLOR=ëëë'
q *@Lz|Száôh:'tBAÄ ,ÄJB50Ä ÄDcB(eÄ ,Ä €0_žĆ ůl'<}>_tBAÄ ,Ä•WBxÄ ÄJB50Ä Ä
€"bžô<1tC):'tBAÄ ,Ä>B|ÜÄ ,Ä•WBxÄ Ä €}qz<ÖtÖ6s•WBxÄ Ä>B|ÜÄ ,ÄÖsB0jÄ Ä €"•|ž...Ä&l' €ÖsB0jÄ
ÄÖsB0jÄ Ä>iB,<Ä Ä €üz2s3< >iB,<Ä `äÄ>iB,<Ä Ä]Bjs!Ä `äÄ €R>{žÜ<> ]Bjs!Ä €Ä]Bjs!Ä `äÄ`-Bx%Ä
€ÄÄ €€-ož" _'> `Bx%Ä ŠÄ`-Bx%Ä €ÄÄ`BSÄ)Ä ŠÄ €8B_žÖ«ú» `BSÄ)Ä €=Ä`BSÄ)Ä ŠÄ€>B0r,Ä ,Ä
€8B_žÖ«ú» `BSÄ)Ä €ÄÄ€>B0r,Ä ,Ä`BSÄ)Ä `R €€-ož" _'> `Bx%Ä €ÄÄ`BSÄ)Ä `R`-Bx%Ä `R €R>{žÜ<>
]Bjs!Ä €ÄÄ`-Bx%Ä `R]Bjs!Ä `R €üz2s3< >iB,<Ä €ÄÄ]Bjs!Ä `R>iB,<Ä `R €"•|ž...Ä&l' ÖsB0jÄ
€ÄÄ>iB,<Ä `RÖsB0jÄ `R €qzTÖ«l' •WBxÄ €ÄÄÖsB0jÄ `R•WBxÄ `R €V_žI ůl' JJB50Ä €ÄÄ•WBxÄ
`RJB50Ä `R €L'IžRDž5€gtDcB(eÄ ,ÄJB50Ä `RDcB(eÄ ,C €L'IžRDž DcB(eÄ ,ÄJB50Ä €ÄÄJB50Ä `R
€L'IžRDž DcB(eÄ ,ÄJB50Ä €=ÄJB50Ä €ÄÄ €L'IžRDž DcB(eÄ ,ÄJB50Ä ŠÄJB50Ä €=Ä €L'IžRDž
DcB(eÄ ,ÄJB50Ä €ÄJB50Ä ŠÄ €L'IžRDž DcB(eÄ ,ÄJB50Ä `äÄJB50Ä €ÄÄ €L'IžRDž
DcB(eÄ ,ÄJB50Ä ÄJB50Ä `äÄ €L'IžRDž DcB(eÄ ,ÄJB50Ä ÄJB50Ä Ä €V_žI ůl' €JB50Ä ÄJB50Ä
Ä•WBxÄ Ä €qzTÖ«l' €•WBxÄ `äÄ•WBxÄ ÄÖsB0jÄ `äÄ €"•|ž...Ä&l' €ÖsB0jÄ €ÄÖsB0jÄ `äÄ>iB,<Ä €ÄÄ €üz2s3<
>iB,<Ä ŠÄ>iB,<Ä €ÄÄ]Bjs!Ä ŠÄ €R>{žÜ<> ]Bjs!Ä €=Ä]Bjs!Ä ŠÄ`-Bx%Ä €=Ä €€-ož" _'> `Bx%Ä €ÄÄ`-
Bx%Ä €=Ä`BSÄ)Ä €ÄÄ €€-ož" _'> `BSÄ)Ä `R`-Bx%Ä €ÄÄ`BSÄ)Ä €ÄÄ €0iržÄ€`l';xÄ9>B|
ÜÄ ,ÄiEB,žÄ ,ÄÖsB0jÄ Ä €!•|ž...Ä&l'ÄÖsB0jÄ ÄiEB,žÄ ,Ä>iB,<Ä Ä €üz2s3< >iB,<Ä Ä>iB,<Ä Ä]Bjs!Ä
Ä €R>{žÜ<> ]Bjs!Ä `äÄ]Bjs!Ä Ä`-Bx%Ä `äÄ €€-ož" _'> `Bx%Ä €ÄÄ`-Bx%Ä `äÄ`BSÄ)Ä €ÄÄ €8B_žÖ«ú»
`BSÄ)Ä ŠÄ`BSÄ)Ä €ÄÄ€>B0r,Ä ,Ä €€-ož" _'> `BSÄ)Ä ŠÄ`-Bx%Ä €ÄÄ`BSÄ)Ä €ÄÄ €ÄÄ|ž)+ `l'
iEB,žÄ ,Ä>iB,<Ä ,Ä>iB,<Ä Ä €`žE«; >iB,<Ä Ä>iB,<Ä ,ÄdBGt!Ä ,Ä €)b|žl+;>xÄ9]Bjs!Ä ÄdBGt!
```

A.2 ASCII STL soubor galvanické cely

Velikost souboru: 7,72 MB

Část kódu:

```
solid ascii
facet normal -7.978643e-001 -6.028364e-001 8.881819e-004
  outer loop
    vertex 3.618610e+001 -3.662856e+001 -1.720000e+002
    vertex 3.607255e+001 -3.645626e+001 -1.570625e+002
    vertex 3.559694e+001 -3.584879e+001 -1.720000e+002
  endloop
endfacet
facet normal -8.714494e-001 -4.904844e-001 -9.671953e-004
  outer loop
    vertex 3.618610e+001 -3.662856e+001 -1.720000e+002
    vertex 3.658553e+001 -3.736768e+001 -1.570625e+002
    vertex 3.607255e+001 -3.645626e+001 -1.570625e+002
  endloop
endfacet
facet normal -8.851482e-001 -4.653088e-001 6.448147e-004
  outer loop
    vertex 3.618610e+001 -3.662856e+001 -1.720000e+002
    vertex 3.664086e+001 -3.749364e+001 -1.720000e+002
    vertex 3.658553e+001 -3.736768e+001 -1.570625e+002
  endloop
endfacet
```


B Test chemické odolnosti

Test: Chemical Compatibility

Materiál	ABS	PC	Nylon 12
Barva vzorku	běžová	bílá	černá
Struktura tisku:	0,254mm	0,254mm	0,254mm
Vstupní struktura:			
Hmotnost před (g):	1,3353	0,5914	1,1268
Aktivace H ₂ SO ₄ (5%) (g):	1,3332	0,5905	1,1185
Au lázeň (g):	1,3363	0,5918	1,1202
Ag lázeň (g)	1,3385	0,5913	1,1212
Zhodnocení:	✓	✓	✗

Chemical Compatibility (Stratasys)

Aliphatic hydrocarbons: ABS-2, PC-3, Nylon-1

Weak acids (pH3-6): ABS-1, PC-2, Nylon-2

Strong acids (pH less 3): ABS-3, PC-4, Nylon-4

Weak bases (pH8-10): ABS-1, PC-2, Nylon-1

Strong bases (pH higher 10): ABS-1, PC-3, Nylon-1

1=Excelent, 2=Good, 3=Limited, 4=Poor chemical resistance

B TEST CHEMICKÉ ODOLNOSTI

C Katalogový list ABS-M30



ABS-M30™ is up to 25 to 70 percent stronger than standard ABS and is an ideal material for conceptual modeling, functional prototyping, manufacturing tools and end-use-parts. ABS-M30 has greater tensile, impact and flexural strength than standard ABS. Layer bonding is significantly stronger than that of standard ABS, for a more durable part. This results in more realistic functional tests and higher quality parts for end use. ABS-M30 parts are stronger, smoother and have better feature detail. ABS-M30 runs the Xtend 500 Fortus Plus option, which enables more than 400 hours of unattended build time.

MECHANICAL PROPERTIES ¹	TEST METHOD	ENGLISH		METRIC	
		XZ AXIS	ZX AXIS	XZ AXIS	ZX AXIS
Tensile Strength, Yield (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4,550 psi	3,750 psi	31 MPa	26 MPa
Tensile Strength, Ultimate (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4,650 psi	4,050 psi	32 MPa	28 MPa
Tensile Modulus (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	320,000 psi	310,000 psi	2,230 MPa	2,180 MPa
Tensile Elongation at Break (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	7%	2%	7%	2%
Tensile Elongation at Yield (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	2%	1%	2%	1%
Flexural Strength (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	8,700 psi	7,000 psi	60 MPa	48 MPa
Flexural Modulus (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	300,000 psi	250,000 psi	2,060 MPa	1,760 MPa
Flexural Strain at Break (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	4%	3.5%	4%	3.5%

MECHANICAL PROPERTIES	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
		XZ AXIS	XZ AXIS
IZOD Impact, notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	2.4 ft-lb/in	128 J/m
IZOD Impact, un-notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	5.6 ft-lb/in	300 J/m



THERMAL PROPERTIES ²	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
ASTM D648	ASTM D648	204°F	96°C
Heat Deflection (HDT) @ 264 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	180°F	82°C
Vicat Softening Temperature (Rate B/50)	ASTM D1525	210°F	99°C
Glass Transition (Tg)	DMA (SSYS)	226°F	108°C
Coefficient of Thermal Expansion (flow)	ASTM E831	4.90x10 ⁻⁶ in/in/°F	8.82x10 ⁻⁶ mm/mm/°C
Coefficient of Thermal Expansion (xflow)	ASTM E831	4.70x10 ⁻⁶ in/in/°F	8.46x10 ⁻⁶ mm/mm/°C
Melting Point	- - - - -	Not Applicable ³	Not Applicable ³

STRATASYS.COM

stratasys

THE 3D PRINTING SOLUTIONS COMPANY



ABS-M30

PRODUCTION-GRADE THERMOPLASTIC FOR FDM 3D PRINTERS



At the core: Advanced FDM Technology™

Fortus systems are based on Stratasys® FDM® (fused deposition modeling) technology. FDM is the industry's leading additive manufacturing technology, and the only one that uses production-grade thermoplastics, enabling the most durable parts. Fortus systems use a wide range of thermoplastics with advanced mechanical properties so your parts can endure high heat, caustic chemicals,

No special facilities needed

You can install a Fortus 3D Printer or Stratasys F123 Series 3D Printer just about anywhere. No special venting is required because they don't produce noxious fumes, chemicals or waste.

No special skills needed

Fortus 3D Printers and Stratasys F123 Series 3D Printers are easy to operate and maintain compared to other additive fabrication systems because there are no messy powders to handle and contain. They're so simple, an operator can be trained to operate one in less than 30 minutes.

Get your benchmark on the future of manufacturing

Fine details. Smooth surface finishes. Accuracy. Strength. The best way to see the advantages of a Fortus 3D Printer or Stratasys F123 Series Printer is to have your own part built on one. Get your free part at: stratasys.com.

ELECTRICAL PROPERTIES ³	TEST METHOD	ORIENTATION	VALUE RANGE
Volume Resistivity	ASTM D257	XZ Axis	4.0x10 ¹⁵ - 3.3x10 ¹⁶ ohm-cm
Dielectric Constant	ASTM D150-98	XZ Axis	2.6 - 2.86
Dissipation Factor	ASTM D150-98	XZ Axis	0.0048 - 0.0054
Dielectric Strength	ASTM D149-09, Method A	XY Axis	100 V/mil
Dielectric Strength	ASTM D149-09, Method A	XZ Axis	360 V/mil

OTHER ¹	TEST METHOD	VALUE
Specific Gravity	ASTM D792	1.04
Flame Classification	UL94	HB (0.09", 2.50 mm)
Rockwell Hardness	ASTM D785	109.5
UL File Number	-----	E345258

SYSTEM AVAILABILITY	LAYER THICKNESS CAPABILITY	SUPPORT STRUCTURE	AVAILABLE COLORS
Fortus® 360mc™	0.013 inch (0.330 mm)	Soluble Supports	<input type="checkbox"/> Ivory <input type="checkbox"/> White <input checked="" type="checkbox"/> Black <input checked="" type="checkbox"/> Dark Grey <input checked="" type="checkbox"/> Red <input checked="" type="checkbox"/> Blue
Fortus 380mc™	0.010 inch (0.254 mm)		
Fortus 400mc™	0.007 inch (0.178 mm)		
Fortus 450mc™	0.005 inch (0.127 mm)*		
Fortus 900mc™			
Stratasys F123 Series			

The information presented are typical values intended for reference and comparison purposes only. They should not be used for design specifications or quality control purposes. End-use material performance can be impacted (+/-) by, but not limited to, part design, end-use conditions, test conditions, etc. Actual values will vary with build conditions. Tested parts were built on Fortus 400mc @ 0.010" (0.254 mm) slice. Product specifications are subject to change without notice.

The performance characteristics of these materials may vary according to application, operating conditions or end use. Each user is responsible for determining that the Stratasys material is safe, lawful and technically suitable for the intended application, as well as for identifying the proper disposal (or recycling) method consistent with applicable environmental laws and regulations. Stratasys makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, the warranties of merchantability, fitness for a particular use, or warranty against patent infringement.

¹Literature value unless otherwise noted.

²Due to amorphous nature, material does not display a melting point.

³All Electrical Property values were generated from the average of test plaques built with default part density (solid). Test plaques were 4.0 x 4.0 x 0.1 inches (102 x 102 x 2.5 mm) and were built both in the flat and vertical orientation. The range of values is mostly the result of the difference in properties of test plaques built in the flat vs. vertical orientation.

*0.005 inch (0.127 mm) layer thickness not available for Fortus 900mc.

Colors: The test data was collected using ABS-M30 Ivory (natural) specimens. ABS-M30 colored material will have similar properties, but can vary by up to 10%. Orientation: See Stratasys Testing white paper for more detailed description of build orientations.

- XZ = X or "on edge"
- XY = Y or "flat"
- ZX = or "upright"



stratasys

STRATASYS.COM
ISO 9001:2008 Certified

© 2013, 2015, 2017 Stratasys Inc. All rights reserved. Stratasys, FDM, Fortus and Finishing Touch are registered trademarks of Stratasys Inc. FDM Technology, Fused Deposition Modeling, Fortus 200mc, Fortus 250mc, Fortus 360mc, Fortus 380mc, Fortus 400mc, Fortus 450mc, Fortus 900mc, Insight, Control Center, Smart Supports, SR-30, SR-100, ABSplus, ABS-ESD7, and TouchWorks are trademarks of Stratasys, Inc. "ULTEM" is a trademark of SABIC Innovative Plastics IP BV. All other trademarks are the property of their respective owners, and Stratasys assumes no responsibility with regard to the selection, performance, or use of these non-Stratasys products. Product specifications subject to change without notice. Printed in the USA. MSS_FDM_ABSM30_0417a

HEADQUARTERS

7665 Commerce Way, Eden Prairie, MN 55344
+1 888 480-3548 (US Toll Free)
+1 952 937-3000 (Int'l)
+1 952 937-0070 (Fax)

2 Holtzman St., Science Park, PO Box 2496
Rehovot 76124, Israel
+972 74 745-4000
+972 74 745-5000 (Fax)

D Katalogový list Fortus 450mc



Fortus 380mc a 450mc

Získejte nejnovější technologii FDM® pro výrobu a vytváření vyspělých prototypů.

Využijte při svém podnikání rychlosti, flexibility a svobody navrhování vyspělé aditivní výroby a získejte nejnovější pokročilou technologii FDM. 3D produkční systémy Fortus 380mc™ a Fortus 450mc™ vám umožní vytvářet náročné prototypy, robustní přípravky, upínáky a nástroje i vlastní výrobní díly z důvěrně známých termoplastů. Tyto 3D produkční systémy se vyznačují snadným použitím a nabízejí zbrusu nové intuitivní dotykové rozhraní, které urychlí pracovní procesy. V obou verzích budete mít možnost zvolit si materiály, a to jak ve formě jednotlivých kusů, tak cenově výhodných balíčků.

Fortus 380mc:

Rychle vytvářejte komplexní prototypy a výrobní pomůcky o rozměru až 355 x 305 x 305 mm z osmi standardních a konstrukčních termoplastů.

Fortus 450mc:

Získejte všechny funkce tiskárny Fortus 380mc s větším modelovacím prostorem (406 x 355 x 406 mm) a možností používat vysoce výkonné termoplasty pro specializované výrobní díly v náročných odvětvích, jako jsou zdravotnictví, letecký průmysl, výzkum či obrana.



DALŠÍ INFORMACE O TISKÁRNÁCH FORTUS 380MC A 450MC NAJDETE NA WEBU STRATASYS.COM



Fortus 380mc a 450mc



Hlavní vlastnosti:

Pokročilá technologie FDM

Systémy Fortus® využívají technologii FDM od společnosti Stratasys®.

Technologie FDM využívá pro výrobu dílů průmyslové termoplasty, což je zárukou jejich maximální odolnosti.

Systémy Fortus pracují s širokou řadou termoplastů s pokročilými mechanickými vlastnostmi, takže vaše díly odolají vysokým teplotám, žíravinám, sterilizaci a silným nárazům.

Žádné zvláštní nároky na umístění

3D výrobní systém Fortus je možné umístit téměř kamkoliv. Není vyžadováno žádné speciální odvětrávání, protože systémy Fortus nevytvářejí žádné škodlivé plyny, chemikálie ani odpad.

Žádné speciální znalosti

Ve srovnání s ostatními systémy aditivní výroby se 3D tiskárny Fortus vyznačují snadnou obsluhou a údržbou, protože neobsahují ani nezpracovávají žádné znečišťující práškové směsi. Jsou tak jednoduché, že k vyškolení obsluhy pro práci se systémem Fortus stačí méně než 30 minut.

Seznamte se s výrobou budoucnosti

Jemné detaily. Hladká povrchová úprava ploch. Přesnost. Odolnost. Nejlepším způsobem, jak se seznámit s výhodami 3D výrobního systému Fortus, je vyrobit si vlastní model na systému Fortus. Zajištěte si bezplatný model na adrese: mcae.cz

Specifikace systému

KONFIGURACE SYSTÉMU		
Velikost modelovacího prostoru (XYZ)	380mc: 355 x 305 x 305 mm	450mc: 406 x 355 x 406 mm
Modelovací materiál	380mc: Jedna přihrádka pro materiál a jedna pro kanistr podpůrného materiálu	450mc: Dvě přihrádky pro materiál a dvě pro kanistr podpůrného materiálu Automatické přepínání mezi kanistry


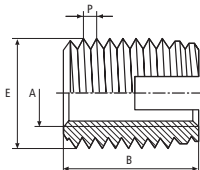
Varianty materiálu

	TLOUŠŤKA VRSTVY:				PODPŮRNÁ STRUKTURA:	DOSTUPNÉ BARVY:
	0,330 mm	0,254 mm	0,178 mm	0,127 mm		
ABS-ESD7™		X	X		Rozpustná	■ Černá
ABS-M30™	X	X		X	Rozpustná	■ Slonová kost ■ Bílá ■ Černá ■ Červená ■ Modrá ■ Tmavě šedá
ABS-M30i™	X	X	X	X	Rozpustná	■ Slonová kost
ASA	X	X	X	X	Rozpustná	■ Černá ■ Tmavě modrá ■ Tmavě šedá ■ Zelená ■ Světle šedá ■ Žlutá ■ Bílá ■ Oranžová ■ Slonová kost ■ Červená
FDM Nylon 12™	X	X	X		Rozpustná	■ Černá
PC	X	X	X	X	Odlamovací, rozpustná	■ Bílá
PC-ABS	X	X	X	X	Rozpustná	■ Černá
PC-ISO™	X	X	X		Odlamovací	■ Průsvitná přírodní ■ Bílá
Pryskyřice ULTEM® 9085 (pouze 450mc)	X	X			Odlamovací	■ Bronzová ■ Černá
Pryskyřice ULTEM® 1010 (pouze 450mc)	X	X			Odlamovací	■ Přírodní
ST-130 (pouze 450mc)		Dostupné pouze v tloušťce 0,330 mm			Odlamovací	■ Bronzová

DALŠÍ SPECIFIKACE

Rozměry a hmotnost systému	129,5 cm x 90,2 cm x 198,4 cm 601 kg
Dosažitelná přesnost	Díly jsou vyráběny s přesností ± 0,127 mm nebo ± 0,0015 mm/mm podle toho, která hodnota je vyšší. Poznámka: Přesnost je dosahována v závislosti na geometrii. Specifikace dosažitelné přesnosti je odvozená ze statistických údajů při 95% rozměrové účinnosti.
Síťová komunikace	Připojení 10/100BASE-T. Protokol sítě Ethernet.
Přítomnost obsluhy	Vyžaduje omezenou přítomnost při spuštění a zastavení úlohy.
Požadavky na napájení	Třífázové 208 V AC, 50/60 Hz, spotřeba 18 A
Regulační směrnice	CE
Software	Všechny systémy Fortus zahrnují software Insight™ a Control Center™ pro správu a zpracování úloh.
Operační systém	Microsoft Windows 8.1 a Windows 8 (Pro, Enterprise), Microsoft Windows 7 (Pro, Enterprise, Ultimate), Microsoft Windows Vista (Business, Enterprise, Ultimate), Microsoft Windows Server 2008, Microsoft Windows Server 2003

E Katalogový list závitové vložky

	Závitová vložka Samořezná Vnitřní závit metrický	Ensats®-S Podnik. norma 302			
Použití					
<p>Závitová vložka s řeznou štěrbinou je samořezný spojovací prvek k vytvoření vysoce zatížitelných, šroubových spojů v materiálech s menší odolností vůči stříhu, s vysokou odolností vůči opotřebení a vibracím.</p>	<p>Je vhodná pro montáž v následujících materiálech:</p> <ul style="list-style-type: none">- slitiny z lehkých kovů- litině, mosazi, bronzu, NE - kovů- umělých hmotách, vrstvených hmotách- tvrdém dřevě				
v mm					
číslo dílu	vnitřní závit A	vnější závit E P	délka B	min. hloubka otvoru u slepých otvorů T	
302 000 020 ... 302 000 025 ... 302 000 030 ...	M 2 M 2,5 M 3	4,5 4,5 5	0,5 0,5 0,5	6 6 6	8 8 8
302 000 035 ... 302 000 040 ...	M 3,5 M 4	6 6,5	0,75 0,75	8 8	10 10
302 000 050 ... 302 000 061 ...	M 5 M 6 (a)	8 9	1 1	10 12	13 15
302 000 060 ... 302 000 080 ...	M 6 M 8	10 12	1,5 1,5	14 15	17 18
302 000 100 ... 302 000 120 ...	M 10 M 12	14 16	1,5 1,5	18 22	22 26
302 000 140 ... 302 000 160 ...	M 14 M 16	18 20	1,5 1,5	24 22	28 27
302 000 180 ... 302 000 200 ...	M 18 M 20	22 26	1,5 1,5	24 27	29 32
302 000 220 ... 302 000 240 ...	M 22 M 24	26 30	1,5 1,5	30 30	36 36
302 000 270 ... 302 000 300 ...	M 27 M 30	34 36	1,5 1,5	30 40	36 46
Příklad pro nalezení čísla dílu		Samořezná závitová vložka Ensats S řady podnikové normy 302 s vnitřním závitem A = M5 z oceli, kalená, pozinkovaná nebo žlutě chromátovaná: Ensats S 302 000 050.160			
Materiály		ocel nekalená Ocel povrchově vytvrzená, pozink, žlutě chromátovaná Mosaz Nerez - ocel 1.4105 Nerez - ocel 1.4305 Jiné materiály, provedení a druhy zušlechtění dle poptávky			
		Art. Č. 100 Art. Č. 160 Art. Č. 800 Art. Č. 400 Art. Č. 500			
Tolerance		ISO 2768-m			

E KATALOGOVÝ LIST ZÁVITOVÉ VLOŽKY

POZNÁMKA

Obrázek 1.2 je použit se souhlasem společnosti Materialise nv.